

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-153051

(43)Date of publication of application : 08.06.1999

(51)Int.Cl.

F02D 41/14

F02D 45/00

G05B 13/00

G05B 13/02

G05B 21/02

(21)Application number : 10-106738

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 16.04.1998

(72)Inventor : YASUI YUJI  
AKASAKI NAOSUKE  
IWAKI YOSHIHISA

(30)Priority

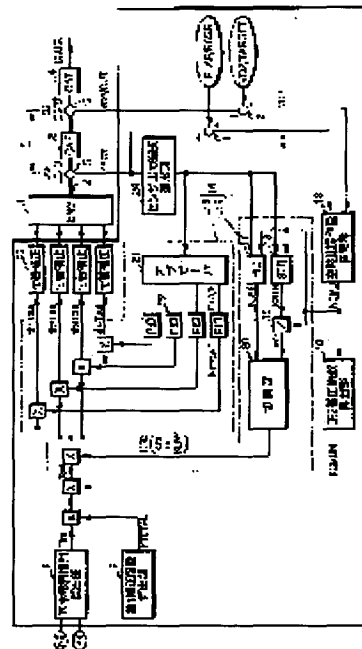
Priority number : 09251141 Priority date : 16.09.1997 Priority country : JP

**(54) AIR-FUEL RATIO CONTROL DEVICE FOR EXHAUST SYSTEM OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND PLANT CONTROL DEVICE**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To construct algorithm for controlling an air-fuel ratio of the exhaust system of an internal combustion engine containing a catalyst device so that the algorithm may have simplicity suitable for computer processing and to perform stable and high-precise control.

**SOLUTION:** An objective exhaust system E is modeled by a discrete system in a state to contain an answer delay element and a useless time element, and a parameter set by the discrete system model is identified by data of an output KACT of an O<sub>2</sub> sensor 5 situated upper stream from a catalyst device 3 and data of an output V02/OUT of an O<sub>2</sub> sensor 6 situated downstream from the catalyst device 3. An air-fuel ratio of exhaust gas entering the catalyst device 3 is controlled through using sliding mode control such that, by using the parameter of an identified discrete model, the output V02/OUT of the O<sub>2</sub> sensor 6 is converged to a given target value V02/TARGET.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.04.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of



rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-153051

(43) 公開日 平成11年(1999) 6月8日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

F 0 2 D 41/14

3 1 0

F 0 2 D 41/14

3 1 0 L

45/00

3 6 8

45/00

3 6 8 G

G 0 5 B 13/00

G 0 5 B 13/00

A

13/02

13/02

D

21/02

21/02

Z

審査請求 未請求 請求項の数57 O L (全 55 頁)

(21) 出願番号 特願平10-106738

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(22) 出願日 平成10年(1998) 4月16日

(72) 発明者 安井 裕司

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

(31) 優先権主張番号 特願平9-251141

(32) 優先日 平9(1997) 9月16日

(72) 発明者 赤崎 修介

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 岩城 喜久

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会

社本田技術研究所内

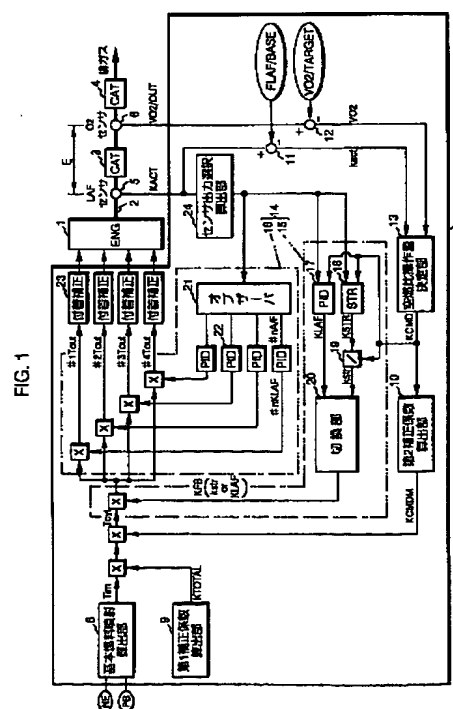
(74) 代理人 弁理士 佐藤 辰彦 (外1名)

(54) 【発明の名称】 内燃機関の排気系の空燃比制御装置及びプラントの制御装置

(57) 【要約】

【課題】触媒装置を含む内燃機関の排気系の空燃比を制御する場合に、その制御のためのアルゴリズムをコンピュータ処理に適した簡素なものとして構築することができると共に、制御を安定して高精度で行うことができる内燃機関の排気系の空燃比制御装置を提供する。

【解決手段】対象排気系Eを応答遅れ要素と無駄時間要素とを含めて離散系でモデル化し、その離散系モデルの設定すべきパラメータを、触媒装置3の上流側の空燃比センサ5の出力KACTのデータ及び触媒装置3の下流側のO<sub>2</sub>センサの出力V02/OUTのデータから同定する。同定した離散系モデルのパラメータを用いてO<sub>2</sub>センサの出力V02/OUTを所定の目標値V02/TARGETに収束させるようにスライディングモード制御等を用いて触媒装置3に進入する排ガスの空燃比を制御する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項 1】 内燃機関の排気系に設けられた触媒装置の下流側に該触媒装置を通過した前記内燃機関の排ガス中の特定成分の濃度を検出すべく設けられた第 1 の排ガスセンサを備え、前記第 1 の排ガスセンサの出力が所定の目標値になるように前記触媒装置に進入する内燃機関の排ガスの空燃比を制御する内燃機関の排気系の空燃比制御装置において、

前記触媒装置の上流側に該触媒装置に進入する前記内燃機関の排ガスの空燃比を検出すべく設けられた第 2 の排ガスセンサと、

該第 2 の排ガスセンサから前記第 1 の排ガスセンサまでの前記触媒装置を含む排気系を対象として少なくとも該対象排気系の応答遅れに係わる要素を含めて該対象排気系を離散系でモデル化して成る離散系モデルに対し、該離散系モデルの設定すべきパラメータを前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータに基づき同定する同定手段と、

該同定手段により同定されるパラメータを用いてあらかじめ定められた所定のアルゴリズムにより、前記第 1 の排ガスセンサの出力が前記目標値になるように前記触媒装置に進入する前記内燃機関の排ガスの空燃比を規定する操作量を決定する空燃比操作量決定手段とを備えたことを特徴とする内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2】 前記同定手段により同定する前記パラメータは、前記離散系モデルの前記応答遅れに係わる要素のゲイン係数を含むことを特徴とする請求項 1 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 3】 前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータは、該第 1 の排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差であり、前記第 2 の排ガスセンサの出力を示すデータは、該第 2 の排ガスセンサの出力と所定の基準値との偏差であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 4】 前記離散系モデルは前記対象排気系が有する無駄時間に係わる要素を含むと共に、該離散系モデルにおいて前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータに基づき前記無駄時間後の該第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータを生成する推定手段を備え、前記空燃比操作量決定手段は、前記推定手段により生成されたデータにより示される前記無駄時間後の第 1 の排ガスセンサの出力の推定値が前記目標値になるように前記操作量を決定することを特徴とする請求項 1 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 5】 前記同定手段により同定する前記パラメータは、前記離散系モデルの前記応答遅れに係わる要素のゲイン係数と前記無駄時間に係わる要素のゲイン係数とを含むことを特徴とする請求項 4 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 6】 前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータは、該第 1 の排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差であると共に、前記第 2 の排ガスセンサの出力を示すデータは、該第 2 の排ガスセンサの出力と所定の基準値との偏差であり、前記推定手段が生成する前記無駄時間後の前記第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータは、該第 1 の排ガスセンサの出力の推定値と前記目標値との偏差であることを特徴とする請求項 4 又は 5 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 7】 前記空燃比操作量決定手段は、前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータからスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 8】 前記空燃比操作量決定手段は、前記無駄時間後の前記第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータからスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 9】 前記空燃比操作量決定手段は、外乱の影響もしくはモデル化誤差を考慮した適応スライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 10】 前記空燃比操作量決定手段が決定する操作量は前記触媒装置に進入する前記排ガスの目標空燃比であり、前記第 2 の排ガスセンサによる検出空燃比が前記目標空燃比になるように前記内燃機関への燃料供給量をフィードバック制御するフィードバック制御手段を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 11】 前記フィードバック制御手段は、漸化式形式の制御器により構成されていることを特徴とする請求項 10 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 12】 前記漸化式形式の制御器は適応制御器であることを特徴とする請求項 11 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 13】 前記同定手段は、前記離散系モデル上での前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータの同定値と該第 1 の排ガスセンサの実際の出力を示すデータとの間の誤差が最小になるように前記パラメータを同定するアルゴリズムにより構成され、前記同定手段による前記誤差の算出に際して、前記離散系モデル上での前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータの同定値と該第 1 の排ガスセンサの実際の出力を示すデータとに互いに同一の周波数特性で所定の周波数帯に重みを有するフィルタリングを施す手段を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 14】 前記フィルタリングの周波数特性は、前

記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記対象排気系のゲインの周波数特性とが略同一傾向の特性となり、且つ、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記対象排気系の各周波数におけるゲインよりも大きくなるように設定されていることを特徴とする請求項 1 3 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 1 5】前記フィルタリングの周波数特性は、前記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記対象排気系のゲインの周波数特性とが所定の周波数帯において略同一特性となり、且つ、該所定の周波数帯以外の周波数帯では、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記対象排気系の各周波数におけるゲインよりも大きくなるように設定されていることを特徴とする請求項 1 3 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 1 6】前記同定手段は、前記第 1 の排ガスセンサの出力の特定の挙動に応じて前記パラメータの同定を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 1 7】前記第 1 の排ガスセンサは酸素濃度センサであり、前記特定の挙動は、該第 1 の排ガスセンサの出力により示される前記排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動であることを特徴とする請求項 1 6 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 1 8】前記同定手段は、前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータの現在以前の所定数の時系列データにより定まる所定の関数の値に基づき、前記第 1 の排ガスセンサの出力が前記特定の挙動状態にあるか否かの判断を行うことを特徴とする請求項 1 6 又は 1 7 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 1 9】前記同定手段は、同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限する手段を具備することを特徴とする請求項 1 乃至 1 8 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 0】前記推定手段は、前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータと前記同定手段により同定される前記パラメータの値により定まる複数の係数値とを用いた所定の推定アルゴリズムにより前記無駄時間後の該第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータを生成する手段であると共に、前記同定手段は、同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限する手段を具備し、該所定の条件は、該パラメータの値により定まる前記複数の係数値の組み合わせが所定の組み合わせとなるように設定されていることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 1】前記同定手段が同定する前記パラメータは複数であり、前記所定の条件は、該複数のパラメータのうちの少なくとも二つのパラメータの値の組み合わせ

を所定の組み合わせに制限する条件を含むことを特徴とする請求項 1 9 又は 2 0 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 2】前記所定の条件は、前記同定手段が同定する少なくとも一つの前記パラメータについて該パラメータの値の上限及び下限を制限する条件を含むことを特徴とする請求項 1 9 乃至 2 1 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 3】前記同定手段による同定処理は、所定の制御サイクル毎に、過去の制御サイクルにおいて求めた前記パラメータの値を用いて該パラメータの値を更新しつつ同定するアルゴリズムにより構成され、該アルゴリズムにおいて用いる前記パラメータの過去値は、前記所定の条件を満たす値に制限してなる値であることを特徴とする請求項 1 9 乃至 2 2 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 4】前記離散系モデルの応答遅れに係わる要素は、1 次目の自己回帰項に係わる要素と 2 次目の自己回帰項に係わる要素とを含むと共に、前記同定手段が同定する前記パラメータは、前記 1 次目の自己回帰項に係わる要素の第 1 ゲイン係数と前記 2 次目の自己回帰項に係わる要素の第 2 ゲイン係数とを含み、前記所定の条件は、前記第 1 のゲイン係数の値と第 2 のゲイン係数の値とを二つの座標成分として定まる座標平面上の点が該座標平面上に定めた所定の領域内に存することとして設定されていることを特徴とする請求項 1 9 乃至 2 3 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 5】前記所定の領域の境界は、直線状に形成されていることを特徴とする請求項 2 4 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 6】前記所定の領域の境界の少なくとも一部は、前記第 1 のゲイン係数と第 2 のゲイン係数とを変数として表した所定の関数式により設定されていることを特徴とする請求項 2 4 又は 2 5 記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 7】前記同定手段は、前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータに基づき同定した前記第 1 のゲイン係数及び第 2 ゲイン係数の値により定まる前記座標平面上の点が前記所定の領域から逸脱しているとき、該第 1 のゲイン係数の値の変化が最小となるように該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を前記所定の領域内の点の値に変化させることにより、該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を制限することを特徴とする請求項 2 4 乃至 2 6 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 8】前記同定手段による前記パラメータの同定処理の安定性を判別する手段を具備し、前記同定手段は、該パラメータの同定処理が不安定であると判別されたとき、前記パラメータの値又は該パラメータを同定す

る過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットすることを特徴とする請求項 1 乃至 1 8 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 2 9】前記空燃比操作量決定手段による前記操作量の決定処理の安定性を判別する手段を具備し、前記同定手段は、該操作量の決定処理が不安定であると判別されたとき、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットすることを特徴とする請求項 1 乃至 1 8 並びに 2 8 のいずれかに記載の内燃機関の排気系の空燃比制御装置。

【請求項 3 0】プラントへの入力を生成するアクチュエータと、前記プラントの出力を検出する第 1 の検出手段とを備え、該第 1 の検出手段の出力が所定の目標値になるように前記アクチュエータを制御するプラントの制御装置において、

前記アクチュエータにより生成された前記プラントへの入力を検出する第 2 の検出手段と、

前記プラントの応答遅れに係わる要素を含めて該プラントを離散系でモデル化して成る離散系モデルに対し、該離散系モデルの設定すべきパラメータを前記第 1 の検出手段及び第 2 の検出手段の出力のそれぞれを示すデータに基づき同定する同定手段と、

該同定手段により同定されるパラメータを用いてあらかじめ定められた所定のアルゴリズムにより、前記第 1 の検出手段の出力が前記目標値になるように前記プラントへの入力を規定する操作量を決定する操作量決定手段とを備えたことを特徴とするプラントの制御装置。

【請求項 3 1】前記同定手段により同定する前記パラメータは、前記離散系モデルの前記応答遅れに係わる要素のゲイン係数を含むことを特徴とする請求項 3 0 記載のプラントの制御装置。

【請求項 3 2】前記第 1 の検出手段の出力を示すデータは、該第 1 の検出手段の出力と前記目標値との偏差であり、前記第 2 の検出手段の出力を示すデータは、該第 2 の検出手段の出力と所定の基準値との偏差であることを特徴とする請求項 3 0 又は 3 1 記載のプラントの制御装置。

【請求項 3 3】前記離散系モデルは前記プラントが有する無駄時間に係わる要素を含むと共に、該離散系モデルの基で前記第 1 の検出手段及び第 2 の検出手段の出力のそれぞれを示すデータに基づき前記無駄時間後の該第 1 の検出手段の出力の推定値を示すデータを生成する推定手段を備え、前記操作量決定手段は、前記推定手段により生成されたデータにより示される前記無駄時間後の第 1 の検出手段の出力の推定値が前記目標値になるように前記操作量を決定することを特徴とする請求項 3 0 記載のプラントの制御装置。

【請求項 3 4】前記同定手段により同定する前記パラメ

ータは、前記離散系モデルの前記応答遅れに係わる要素のゲイン係数と前記無駄時間に係わる要素のゲイン係数とを含むことを特徴とする請求項 3 3 記載のプラントの制御装置。

【請求項 3 5】前記第 1 の検出手段の出力を示すデータは、該第 1 の検出手段の出力と前記目標値との偏差であると共に、前記第 2 の検出手段の出力を示すデータは、該第 2 の検出手段の出力と所定の基準値との偏差であり、前記推定手段が生成する前記無駄時間後の前記第 1 の検出手段の出力の推定値を示すデータは、該第 1 の検出手段の出力の推定値と前記目標値との偏差であることを特徴とする請求項 3 3 又は 3 4 記載のプラントの制御装置。

【請求項 3 6】前記操作量決定手段は、前記第 1 の検出手段の出力を示すデータからスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することを特徴とする請求項 3 0 乃至 3 2 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 3 7】前記操作量決定手段は、前記無駄時間後の前記第 1 の検出手段の出力の推定値を示すデータからスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することを特徴とする請求項 3 3 乃至 3 5 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 3 8】前記操作量決定手段は、外乱の影響もしくはモデル化誤差を考慮した適応スライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することを特徴とする請求項 3 6 又は 3 7 記載のプラントの制御装置。

【請求項 3 9】前記操作量決定手段が決定する操作量は前記プラントへの目標入力であり、前記第 2 の検出手段の出力が前記目標入力になるように前記アクチュエータの動作をフィードバック制御するフィードバック制御手段を備えたことを特徴とする請求項 3 0 乃至 3 8 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 0】前記フィードバック制御手段は、漸化式形式の制御器により構成されていることを特徴とする請求項 3 9 記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 1】前記フィードバック制御手段は適応制御器であることを特徴とする請求項 4 0 記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 2】前記同定手段は、前記離散系モデル上での前記第 1 の検出手段の出力を示すデータの同定値と該第 1 の検出手段の実際の出力を示すデータとの間の誤差が最小になるように前記パラメータを同定するアルゴリズムにより構成され、該同定手段による前記誤差の算出に際して、前記離散系モデル上での前記第 1 の検出手段の出力を示すデータの同定値と該第 1 の検出手段の実際の出力を示すデータとに互いに同一の所定の周波数特性で所定の周波数帯に重みを有するフィルタリングを施す手段を備えたことを特徴とする請求項 3 0 乃至 4 1 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 3】前記フィルタリングの周波数特性は、前



記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記プラントのゲインの周波数特性とが略同一傾向の特性となり、且つ、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記プラントの各周波数におけるゲインよりも大きくなるように設定されていることを特徴とする請求項 4 2 記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 4】前記フィルタリングの周波数特性は、前記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記プラントのゲインの周波数特性とが所定の周波数帯において略同一特性となり、且つ、該所定の周波数帯以外の周波数帯では、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記対象排気系の各周波数におけるゲインよりも大きくなるように設定されていることを特徴とする請求項 4 2 記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 5】前記同定手段は、前記第 1 の検出手段の出力の特定の挙動に応じて前記パラメータの同定を行うことを特徴とする請求項 3 0 乃至 4 4 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 6】前記同定手段は、前記第 1 の検出手段の出力を示すデータの現在以前の所定数の時系列データにより定まる所定の関数の値に基づき、前記第 1 の検出手段の出力が前記特定の挙動状態にあるか否かの判断を行うことを特徴とする請求項 4 5 記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 7】前記同定手段は、同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限する手段を具備することを特徴とする請求項 3 0 乃至 4 6 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 8】前記推定手段は、前記第 1 の検出手段及び第 2 の検出手段の出力のそれぞれを示すデータと前記同定手段により同定される前記パラメータの値により定まる複数の係数値とを用いた所定の推定アルゴリズムにより前記無駄時間後の該第 1 の検出手段の出力の推定値を示すデータを生成する手段であると共に、前記同定手段は、同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限する手段を具備し、該所定の条件は、該パラメータの値により定まる前記複数の係数値の組み合わせが所定の組み合わせとなるように設定されていることを特徴とする請求項 3 3 乃至 3 5 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 4 9】前記同定手段が同定する前記パラメータは複数であり、前記所定の条件は、該複数のパラメータのうちの少なくとも二つのパラメータの値の組み合わせを所定の組み合わせに制限する条件を含むことを特徴とする請求項 4 7 又は 4 8 記載のプラントの制御装置。

【請求項 5 0】前記所定の条件は、前記同定手段が同定する少なくとも一つの前記パラメータについて該パラメータの値の上限及び下限を制限する条件を含むことを特徴とする請求項 4 7 乃至 4 9 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 5 1】前記同定手段による同定処理は、所定の制御サイクル毎に、過去の制御サイクルにおいて求めた前記パラメータの値を用いて該パラメータの値を更新しつつ同定するアルゴリズムにより構成され、該アルゴリズムにおいて用いる前記パラメータの過去値は、前記所定の条件を満たす値に制限してなる値であることを特徴とする請求項 4 7 乃至 5 0 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 5 2】前記離散系モデルの応答遅れに係わる要素は、1 次目の自己回帰項に係わる要素と 2 次目の自己回帰項に係わる要素とを含むと共に、前記同定手段が同定する前記パラメータは、前記 1 次目の自己回帰項に係わる要素の第 1 ゲイン係数と前記 2 次目の自己回帰項に係わる要素の第 2 ゲイン係数とを含み、前記所定の条件は、前記第 1 のゲイン係数の値と第 2 のゲイン係数の値とを二つの座標成分として定まる座標平面上の点が該座標平面上に定めた所定の領域内に存することとして設定されていることを特徴とする請求項 4 7 乃至 5 1 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 5 3】前記所定の領域の境界は、直線状に形成されていることを特徴とする請求項 5 2 記載のプラントの制御装置。

【請求項 5 4】前記所定の領域の境界の少なくとも一部は、前記第 1 のゲイン係数と第 2 のゲイン係数とを変数として表した所定の関数式により設定されていることを特徴とする請求項 5 2 又は 5 3 記載のプラントの制御装置。

【請求項 5 5】前記同定手段は、前記第 1 の検出手段及び第 2 の検出手段の出力のそれぞれを示すデータに基づき同定した前記第 1 のゲイン係数及び第 2 ゲイン係数の値により定まる前記座標平面上の点が前記所定の領域から逸脱しているとき、該第 1 のゲイン係数の値の変化が最小となるように該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を前記所定の領域内の点の値に変化させることにより、該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を制限することを特徴とする請求項 5 2 乃至 5 4 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 5 6】前記同定手段による前記パラメータの同定処理の安定性を判別する手段を具備し、前記同定手段は、該パラメータの同定処理が不安定であると判別されたとき、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットすることを特徴とする請求項 3 0 乃至 4 6 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 5 7】前記操作量決定手段による前記操作量の決定処理の安定性を判別する手段を具備し、前記同定手段は、該操作量の決定処理が不安定であると判別されたとき、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットすることを特徴とする請求項 3 0 乃至 4

6並びに56のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、内燃機関の排気系の空燃比制御装置及びプラントの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば自動車等、内燃機関の排ガスを三元触媒等の触媒装置により浄化して放出するシステムでは、触媒装置に進入する排ガスの空燃比を、触媒装置の排ガス浄化能力を良好に発揮させるように制御することが環境保護の観点から望まれている。

【0003】このような制御を行うものとしては、従来、例えば特開平5-321721号公報に見られるように、触媒装置を通過した排ガスの酸素濃度を触媒装置の下流側に配置した排ガスセンサ（酸素濃度センサ）により検出して、その検出値が所定の適正值になるようにPID制御を用いて触媒装置の上流側の排ガスの目標空燃比を決定し、その目標空燃比に従って内燃機関を制御することで、触媒装置に進入する排ガスの空燃比を、触媒装置の良好な浄化性能を発揮できる所定のウィンドウ内に収めるようにしたものが本願出願人により提案されている。

【0004】一方、本願発明者等のさらなる検討によって、内燃機関の運転状態や、触媒装置の経時劣化等によらずに、触媒装置の浄化能力を可能な限り最大限に発揮させるためには、触媒装置を通過した排ガス中の酸素濃度等の特定成分の濃度を高精度で安定して所定の適正值（一定値）に整定させる必要があることが判明した。そして、前述のようにPID制御を用いた従来の制御手法では、外乱や、触媒装置を含む排気系に存する無駄時間等の影響で上記のように触媒装置を通過した排ガス中の酸素濃度等を安定して高精度で所定の適正值（一定値）に整定させることが困難であることが判明した。

【0005】このため、本願発明者等は、触媒装置の上流側から下流側にかけての排気系を連続系（詳しくは連続時間系）でモデル化し、そのモデルに基づいて触媒装置を通過した排ガス中の酸素濃度等が所定の適正值になるように触媒装置に進入する排ガスの空燃比を制御するシステムを先に考案した（例えば特願平9-67591号、特願平8-84048号参照）。

【0006】上記のようなモデル化によって、触媒装置を含む排気系に存する無駄時間の影響を補償（排除）したり、外乱に対する制御の安定性がPID制御等に比して高い制御手法（例えばスライディングモード制御）を用いた制御システムの構築が可能となり、ひいては、排気系の空燃比制御の精度や安定性を高めることが可能となる。

【0007】しかしながら、前記の制御システムでは、触媒装置を含む排気系を連続系でモデル化しているため、空燃比制御のためのアルゴリズムは連続系モデル上

で構築されることとなるが、そのアルゴリズムの演算処理を行うコンピュータは離散時間的な処理しか行うことができないため、コンピュータによる演算処理が煩雑なものとなっていた。

【0008】さらに、触媒装置を含む排気系を連続系でモデル化しているため、その連続系モデルのゲイン係数等のパラメータを、該排気系の種々様々の動作状態に適合させて設定しておくことが困難であり、従って、該排気系の精度のよいモデル化が困難であった。そして、該モデルと実際の排気系との間の誤差（モデル誤差）が大きくなると、触媒装置の下流側の排ガスセンサの出力を所定の適正值に整定させる制御を安定して行うことが困難となる虞れがあった。

【0009】尚、以上のような不都合は、内燃機関の排気系の空燃比制御に限らず、任意のプラントの入力を、そのプラントの出力が所定の目標値になるように制御する場合に、該プラントを連続系でモデル化したときには、同様に生じる不都合である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明はかかる背景に鑑み、触媒装置の下流側の排ガス中の特定成分の濃度が所定の目標値になるように触媒装置に進入する排ガスの空燃比を制御する場合に、その制御のためのアルゴリズムをコンピュータ処理に適した簡素なものとして構築することができると共に、触媒装置の下流側の排ガス中の特定成分の濃度の所定の目標値への制御を安定して高精度で行うことができる内燃機関の排気系の空燃比制御装置を提供することを目的とする。

【0011】また、本発明はより一般的に、プラントの出力が所定の目標値になるようにプラントへの入力を制御する場合に、その制御のためのアルゴリズムをコンピュータ処理に適した簡素なものとして構築することができると共に、プラントの出力の所定の目標値への制御を安定して高精度で行うことができるプラントの制御装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置はかかる目的を達成するために、内燃機関の排気系に設けられた触媒装置の下流側に該触媒装置を通過した前記内燃機関の排ガス中の特定成分の濃度を検出すべく設けられた第1の排ガスセンサを備え、前記第1の排ガスセンサの出力が所定の目標値になるように前記触媒装置に進入する内燃機関の排ガスの空燃比を制御する内燃機関の排気系の空燃比制御装置において、前記触媒装置の上流側に該触媒装置に進入する前記内燃機関の排ガスの空燃比を検出すべく設けられた第2の排ガスセンサと、該第2の排ガスセンサから前記第1の排ガスセンサまでの前記触媒装置を含む排気系を対象として少なくとも該対象排気系の応答遅れに係わる要素を含めて該対象排気系を離散系でモデル化して成る離散

系モデルに対し、該離散系モデルの設定すべきパラメータを前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータに基づき同定する同定手段と、該同定手段により同定されるパラメータを用いてあらかじめ定められた所定のアルゴリズムにより、前記第 1 の排ガスセンサの出力が前記目標値になるように前記触媒装置に進入する前記内燃機関の排ガスの空燃比を規定する操作量を決定する空燃比操作量決定手段とを備えたことを特徴とする（請求項 1 記載の発明）。

【0013】かかる本発明によれば、前記同定手段によって、前記離散系モデルの設定すべきパラメータを、第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサのそれぞれの出力を示すデータから適宜、リアルタイムで同定することができるので、前記離散系モデルを、前記対象排気系の挙動変化や特性変化によらずに、実際の対象排気系に適合した精度の高いモデルとすることができる。そして、その離散系モデルの同定したパラメータを用いたアルゴリズムによって、前記第 1 の排ガスセンサの出力が前記目標値になるように前記触媒装置に進入する前記内燃機関の排ガスの空燃比を規定する操作量を前記空燃比操作量決定手段により決定することで、該操作量は実際の対象排気系に適合したものとなり、第 1 の排ガスセンサの出力の目標値への制御を安定して精度よく行うことができる。また、前記操作量を決定するためのアルゴリズムは前記離散系モデルのパラメータを用いることで、該アルゴリズムをコンピュータ処理に適した離散時間的なアルゴリズムで構築することができる。

【0014】よって、本発明によれば、触媒装置の下流側の排ガス中の特定成分の濃度を所定の目標値に制御するためのアルゴリズムをコンピュータ処理に適した簡素なものとして構築することができると共に、触媒装置の下流側の排ガス中の特定成分の濃度の所定の目標値への制御を安定して精度よく行うことができる。

【0015】かかる本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置では、前記同定手段により同定する前記パラメータは、前記離散系モデルの前記応答遅れに係わる要素のゲイン係数を含むことが好ましい（請求項 2 記載の発明）。

【0016】また、さらに、前記同定手段に与える前記第 1 及び第 2 の排ガスセンサのそれぞれの出力を示すデータに関しては、前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータは、該第 1 の排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差であり、前記第 2 の排ガスセンサの出力を示すデータは、該第 2 の排ガスセンサの出力と所定の基準値との偏差であることが好ましい（請求項 3 記載の発明）。このようにすることで、同定手段におけるデータ処理や離散系モデルの構築が容易なものとなる。

【0017】尚、第 1 及び第 2 の排ガスセンサのそれぞれの出力をそのまま用いて前記離散系モデルのパラメータを同定することも可能である。

【0018】また、本発明（請求項 1 記載の発明）の内燃機関の排気系の空燃比制御装置では、前記対象排気系、特に該対象排気系に含まれる前記触媒装置には、比較的長い無駄時間が存在する場合が多く、このような無駄時間は、第 1 の排ガスセンサの出力を確実に前記目標値に制御する上で妨げとなる。

【0019】そこで、本発明（請求項 1 記載の発明）の内燃機関の排気系の空燃比制御装置では、前記離散系モデルは前記対象排気系が有する無駄時間に係わる要素を含むと共に、該離散系モデルにおいて前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータに基づき前記無駄時間後の該第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータを生成する推定手段を備え、前記空燃比操作量決定手段は、前記推定手段により生成されたデータにより示される前記無駄時間後の第 1 の排ガスセンサの出力の推定値が前記目標値になるように前記操作量を決定する（請求項 4 記載の発明）。

【0020】このように前記対象排気系を、その応答遅れに係わる要素と前記無駄時間に係わる要素とを含む離散系モデルで表しておくことで、その離散系モデルに基づいて第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサのそれぞれの出力を示すデータから、コンピュータ処理に適したアルゴリズムで無駄時間後の該第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータを生成することができ、しかも該離散系モデルのパラメータは前記同定手段によって実際の対象排気系に適合するように同定されるので、上記推定値を示すデータを実際の対象排気系に則して適正に推定することができる。そして、この第 1 の排ガスセンサの出力の推定値が前記目標値になるように前記操作量を決定することで、第 1 の排ガスセンサの出力の前記目標値への制御を前記無駄時間の影響を排除して、精度よく安定して行うことができる。

【0021】尚、上記のように前記対象排気系の離散系モデルに無駄時間に係わる要素を含めて、前記推定手段による第 1 の排ガスセンサの出力の推定を行う場合には、前記同定手段により同定する前記パラメータは、前記離散系モデルの前記応答遅れに係わる要素のゲイン係数と前記無駄時間に係わる要素のゲイン係数とを含むことが好ましい（請求項 5 記載の発明）。

【0022】また、前記第 1 の排ガスセンサの出力の推定のために前記推定手段が用いる前記第 1 及び第 2 の排ガスセンサのそれぞれの出力を示すデータと、該推定手段が生成する第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータとに関しては、前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータは、該第 1 の排ガスセンサの出力と前記目標値との偏差であると共に、前記第 2 の排ガスセンサの出力を示すデータは、該第 2 の排ガスセンサの出力と所定の基準値との偏差であり、前記推定手段が生成する前記無駄時間後の前記第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータは、該第 1 の排ガスセンサの出力の推定値と

前記目標値との偏差であることが好ましい（請求項 6 記載の発明）。

【0023】このようにすることで、推定手段及び同定手段におけるデータ処理や離散系モデルの構築が容易なものとなると共に、前記空燃比操作量決定手段は、前記推定手段から得られる第 1 の排ガスセンサの出力の推定値と前記目標値との偏差が「0」になるように前記操作量を決定すればよいので、その操作量を決定するための処理を容易に行うことができる。

【0024】尚、第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサのそれぞれの出力をそのまま用いて前記離散系モデルのパラメータを同定したり、第 1 の排ガスセンサの出力の推定値、あるいはその推定値と前記目標値との偏差を生成するようにすることも可能である。

【0025】また、本発明（請求項 1 乃至 3 記載の発明）の内燃機関の排気系の空燃比制御装置においては、前記空燃比操作量決定手段は、前記第 1 の排ガスセンサの出力を示すデータからスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定する（請求項 7 記載の発明）。

【0026】同様に、前記推定手段を備えた本発明（請求項 4 乃至 6 記載の発明）の内燃機関の排気系の空燃比制御装置においては、前記空燃比操作量決定手段は、前記無駄時間後の前記第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータからスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定する（請求項 8 記載の発明）。

【0027】ここで、スライディングモード制御は、可変構造型のフィードバック制御手法であり、制御対象の複数の状態量を変数とする線形関数によって規定される超平面上に上記複数の状態量を収束させ、さらにそれらの状態量を超平面上に拘束しつつ該超平面上の平衡点（各状態量がそれぞれの目標値に合致する点）に収束させるものである。そして、該スライディングモード制御は、状態量を超平面上に収束させさえすれば、該状態量は外乱等の影響をほとんど受けることなく、極めて安定に超平面上の平衡点に収束させることができるという特性を有している。

【0028】従って、このようなスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することで、第 1 の排ガスセンサの出力の目標値への制御を高い安定性で行うことができる。

【0029】尚、この場合にスライディングモード制御用の超平面を規定する複数の状態量としては、該第 1 の排ガスセンサの出力あるいはその無駄時間後の推定値の複数の時系列データ等が挙げられる。

【0030】上記のように前記操作量を決定するためにスライディングモード制御を用いる場合、さらに好ましくは、前記空燃比操作量決定手段は、外乱の影響もしくはモデル化誤差を考慮した適応スライディングモード制御を用いて前記操作量を決定する（請求項 9 記載の発明）。

【0031】すなわち、一般のスライディングモード制御は、制御すべき状態量を超平面上に収束させるための制御則である到達則と、該状態量を超平面上に拘束しつつ該超平面上の平衡点に収束させるための制御則（所謂、等価制御入力）とによって構成されるものであるが、外乱の影響やスライディングモード制御の制御対象のモデル化誤差があると、前記到達則だけでは、状態量を超平面上に収束させることが困難なものとなる場合が多々ある。これに対して、適応スライディングモード制御は、状態量を超平面上に収束させるに際して外乱の影響やモデル化誤差を補償するための制御則である適応則をさらに付加したもので、このような適応スライディングモード制御によれば、制御すべき状態量を、前記到達則及び適応則によって外乱等の影響を極力抑えて超平面上に安定に収束させることが可能である。

【0032】従って、このような適応スライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することで、第 1 の排ガスセンサの出力の目標値への制御を、外乱等の影響を極力抑えて行うことができ、該制御の安定性をさらに高めることができる。

【0033】また、本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置にあつては、前記空燃比操作量決定手段が決定する操作量は例えば前記触媒装置に進入する前記排ガスの目標空燃比であり、前記第 2 の排ガスセンサによる検出空燃比が前記目標空燃比になるように前記内燃機関への燃料供給量をフィードバック制御するフィードバック制御手段を備える（請求項 10 記載の発明）。

【0034】このように、前記空燃比操作量決定手段が決定する操作量を、前記触媒装置に進入する前記排ガスの目標空燃比とし、触媒装置の上流側の第 2 の排ガスセンサによる検出空燃比が前記目標空燃比になるように前記内燃機関への燃料供給量をフィードバック制御することで、触媒装置に進入する排ガスの空燃比を、触媒装置の下流側の第 1 の排ガスセンサの出力が前記目標値になるように前記空燃比操作量決定手段によって決定された前記目標空燃比に的確に制御することができる。

【0035】尚、前記空燃比操作量決定手段によって決定する前記操作量は、前記触媒装置に進入する前記排ガスの目標空燃比に限られるものではなく、例えば内燃機関の燃料供給量の補正量等を前記操作量として決定するようにすることも可能である。また、前記操作量を触媒装置に進入する排ガスの目標空燃比とした場合であっても、該目標空燃比からフィードフォワード的に内燃機関の燃料供給量を制御するようにすることも可能である。

【0036】上記のようにフィードバック制御手段を備えた場合にあっては、前記フィードバック制御手段は、漸化式形式の制御器により構成されていることが好ましい（請求項 11 記載の発明）。

【0037】すなわち、漸化式形式の制御器は、適応制御器や最適レギュレータ等によって構成されるものであ

り、このような制御器を用いて、触媒装置の上流側の第2の排ガスセンサの出力により示される空燃比が前記目標空燃比になるように前記内燃機関への燃料供給量をフィードバック制御することで、内燃機関の運転状態の変化や経時的な特性変化等の動的な変化に対して、高い追従性で、触媒装置に進入する内燃機関の排ガスの空燃比を前記目標空燃比に制御することができ、ひいては、第1の排ガスセンサの出力の前記目標値への制御の追従性も高めることができる。

【0038】尚、前記漸化式形式の制御器は、燃料供給量のフィードバック制御量（燃料供給量の補正量）の現在以前の所定数の時系列データを含む所定の漸化式によって新たなフィードバック制御量を求めるものである。

【0039】また、前記漸化式形式の制御器としては、特に適応制御器が好適である（請求項12記載の発明）。

【0040】ところで、以上説明した本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置においては、前述のように前記同定手段によって同定される前記離散系モデルのパラメータを用いて、第1の排ガスセンサの出力を目標値に制御するための前記操作量を決定する場合、実際の対象排気系の入力変化に対する出力変化のゲイン（対象排気系の入力及び出力はそれぞれ第2の排ガスセンサで検出される排ガスの空燃比及び第1の排ガスセンサで検出される前記特定成分の濃度である）の周波数特性と、離散系モデルの入力変化に対する出力変化のゲイン（離散系モデルの入力は第2の排ガスセンサの出力で、該離散系モデルの出力は、該第2の排ガスセンサの出力を該離散系モデルに入力したときのモデル出力である）の周波数特性とが基本的には同じような傾向の周波数特性となることが好ましい。

【0041】一方、前記同定手段による前記パラメータの同定は、前記離散系モデル上での前記第1の排ガスセンサの出力を示すデータの同定値と該第1の排ガスセンサの実際の出力を示すデータとの間の誤差が最小になるように該パラメータを同定するアルゴリズムを用いて行うことが可能であり、このようなアルゴリズムを用いて前記パラメータを同定する場合、実際の対象排気系のゲインが比較的大きなものとなる周波数帯（前記対象排気系では一般に低周波域）と異なる周波数帯における前記第1及び第2の排ガスセンサの出力の挙動変化が重視されて、前記パラメータが同定されてしまう場合が多々ある。そして、このような場合には、実際の対象排気系のゲインの周波数特性と離散系モデルのゲインの周波数特性とが整合しないものとなって第1の排ガスセンサの出力を前記目標値に制御する上での確な前記操作量を決定することが困難となる。

【0042】すなわち実際の対象排気系は、一般に、その入力変化に対する出力変化のゲインが比較的大きなものとなる高ゲイン周波数帯（この周波数帯は一般に低周

波帯）と該ゲインが比較的小さなものとなる低ゲイン周波数帯（この周波数帯は一般に高ゲイン周波数帯よりも高周波側の周波数帯）とを有する。そして、このような対象排気系の離散系モデルのパラメータを標準的な同定アルゴリズムを用いて同定すると、その同定されたパラメータにより定まる対象排気系の離散系モデルは上記低ゲイン周波数帯のゲイン特性を重視したものとなり、該離散系モデルの入力変化に対する出力変化のゲインは、全周波数において、実際の対象排気系の入力変化に対する出力変化のゲインよりも小さくなる傾向がある。特に、この傾向は、前記高ゲイン周波数帯において顕著に現れる。

【0043】そして、このように対象排気系の離散系モデルのパラメータが同定されてしまうと、特に、前記高ゲイン周波数帯における外乱的な入力変化によって実際の対象排気系の出力（第1の排ガスセンサの出力）が目標値に対して変化したとき、上記離散系モデルのパラメータを用いて前記操作量（対象排気系の入力の操作量）を決定する空燃比操作量決定手段は、実際の対象排気系における入力変化よりも大きな入力変化が生じたものと認識して、その入力変化を打ち消すために前記操作量を過大に変化させて決定し、その結果、第1の排ガスセンサの出力の目標値への制御が不安定なものとなる。

【0044】そこで、本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置では、さらに、前記同定手段は、前記離散系モデル上での前記第1の排ガスセンサの出力を示すデータの同定値と該第1の排ガスセンサの実際の出力を示すデータとの間の誤差が最小になるように前記パラメータを同定するアルゴリズムにより構成され、前記同定手段による誤差の算出に際して、前記離散系モデル上での前記第1の排ガスセンサの出力を示すデータの同定値と該第1の排ガスセンサの実際の出力を示すデータとに互いに同一の周波数特性で所定の周波数帯に重みを有するフィルタリングを施す手段を備える（請求項13記載の発明）。

【0045】このように、同定手段による誤差の算出に際して、前記離散系モデル上での前記第1の排ガスセンサの出力を示すデータの同定値と該第1の排ガスセンサの実際の出力を示すデータとに互いに同一の周波数特性で所定の周波数帯に重みを有するフィルタリングを施すことで、前記パラメータを同定するための前記誤差を、実際の対象排気系のゲインが比較的大きなものとなるような周波数帯を重視したものとすることができ、その誤差を最小にするように前記パラメータを同定することで、実際の対象排気系のゲインの周波数特性と、離散系モデルのゲインの周波数特性とを整合させることができる。ひいては、該離散系モデルの同定したパラメータを用いて前記操作量を決定することで、第1の排ガスセンサの出力を前記目標値に制御する上での確な前記操作量を決定することができる。

【0046】尚、前記フィルタリングは、結果的に、前記第1の排ガスセンサの出力を示すデータの同定値と該第1の排ガスセンサの実際の出力を示すデータとに施されていればよく、前記誤差にフィルタリングを施すようにしたり、あるいは、前記同定値を求める際に必要な前記第1及び第2の排ガスセンサのそれぞれの出力を示すデータにフィルタリングを施すようにしてもよい。

【0047】上記のようにフィルタリングを行う場合、前記フィルタリングの周波数特性は、前記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記対象排気系のゲインの周波数特性とが略同一傾向の特性となり、且つ、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記対象排気系の各周波数におけるゲインよりも大きくなるように設定されていることが好ましい（請求項14記載の発明）。

【0048】このようにフィルタリングの周波数特性を設定しておけば、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の対象排気系の各周波数におけるゲインよりも大きくなるように前記パラメータが同定されるため、前記離散系モデル上での入力変化に対する出力変化は、各周波数において実際の対象排気系上での出力変化よりも大きくなる。従って、外乱的な入力変化によって実際の対象排気系の出力が目標値に対して変化したとき、上記離散系モデルのパラメータを用いて前記操作量を決定する空燃比操作量決定手段は、実際の対象排気系における入力変化よりも小さめの入力変化が生じたものと認識して、前記操作量の変化を全体的に小さめに決定することとなる。これにより、第1の排ガスセンサの出力の目標値への制御に際して、前記触媒装置に進入する排ガスの空燃比の過剰な変化が抑制され、安定した制御を行うことができる。

【0049】あるいは、前記フィルタリングの周波数特性は、前記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記対象排気系のゲインの周波数特性とが所定の周波数帯において略同一特性となり、且つ、該所定の周波数帯以外の周波数帯では、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記対象排気系の各周波数におけるゲインよりも大きくなるように設定するようにしてもよい（請求項15記載の発明）。

【0050】これによれば、対象排気系のゲインが比較的大きなものとなる前記高ゲイン周波数帯における前記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記対象排気系のゲインの周波数特性とが略同一特性となり、且つ、対象排気系のゲインが比較的小さなものとなる前記低ゲイン周波数帯では、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記対象排気系の各周波数におけるゲインよりも大きくなるように前記離散系モデルのパラメータを同定することが可能となる。そして、このようにすることで、第1の排ガスセンサの出力を目標値に制御する上で重要な対象排気系の高ゲイン周波数帯で

は、第1の排ガスセンサの出力が目標値に対して変化したとき、実際の対象排気系の特性に則して速やかに第1の排ガスセンサの出力が目標値に戻るよう前記操作量が決定されるので、第1の排ガスセンサの出力の目標値への追従性（制御の速応性）を高めることができる。また、対象排気系の低ゲイン周波数帯では、前記請求項14記載の発明に関して説明したように、前記操作量が小さめに決定されるので、制御の安定性を高めることができる。

【0051】また、本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置では、前記同定手段は、前記第1の排ガスセンサの出力の特定の挙動に応じて前記パラメータの同定を行うことが好ましい（請求項16記載の発明）すなわち、本願発明者等の知見によれば、前記離散系モデルのパラメータを同定する場合、第1の排ガスセンサの出力を目標値に制御するための操作量を決定する上で好適なパラメータを同定することができる第1の排ガスセンサの出力の挙動状態があり、第1の排ガスセンサの出力の他の挙動状態では、同定されるパラメータの大きさが小さくなり過ぎて、前記操作量を決定する上では不向きなものとなる場合がある。

【0052】そこで、前記第1の排ガスセンサの出力の特定の挙動に応じて前記パラメータの同定を行うようにすることで、第1の排ガスセンサの出力の目標値への制御のために好適なパラメータを同定することができる。

【0053】この場合、本願発明者等の知見によれば、前記第1の排ガスセンサが酸素濃度センサであるときには（このとき第1の排ガスセンサの出力は触媒装置を通過した排ガスの空燃比に相当するものとなる）、前記特定の挙動は、該第1の排ガスセンサの出力により示される前記排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動であることが特に好適である（請求項17記載の発明）。

【0054】また、前記第1の排ガスセンサの出力が前記特定の挙動状態にあるか否かの判断は、前記第1の排ガスセンサの出力を示すデータの現在以前の所定数の時系列データにより定まる所定の関数の値に基づいて行うことが可能である（請求項18記載の発明）。

【0055】以上説明した本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置にあっては、前記同定手段により同定される前記パラメータの値が不適切なものとなると、前記空燃比操作量決定手段により決定される前記操作量が前記第1の排ガスセンサの出力（排ガス中の前記特性成分の濃度）を前記目標値に制御する上で、不適正なものとなる場合がある。

【0056】また、本願発明者等の知見によれば、前記第1の排ガスセンサの出力を前記目標値に制御する上では支障のない前記パラメータの値が前記同定手段により同定される場合であっても、該パラメータの値によっては、該パラメータの値を用いて決定される前記操作量の

頻繁な変動（該操作量の高周波振動的な時間的変化）を生じる場合もある。そして、このように場合には、触媒装置の下流側の第 1 の排ガスセンサの出力を目標値に制御する上では支障がないものの、前記触媒装置に進入する排ガスの空燃比（これは内燃機関で燃焼させる混合気の空燃比に相当する）を規定する前記操作量が頻繁に変動するため、内燃機関で燃焼させる混合気の空燃比も頻繁な変動を生じる。従って、このような状況は、内燃機関の安定した運転を行う上では好ましくない。

【0057】さらに、本願発明者等の知見によれば、特に、前記推定手段を具備した場合において、該推定手段により、前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータと前記同定手段により同定される前記パラメータの値により定まる複数の係数値とを用いた所定の推定アルゴリズムにより前記無駄時間後の該第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータを生成する場合にあっては、前記操作量の頻繁な変動を生じるか否かは、前記複数の係数値の組み合わせの影響を受け易い。

【0058】そこで、本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置にあっては、前記同定手段は、同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限する手段を具備する（請求項 19 記載の発明）。

【0059】特に、前記推定手段を具備した場合において、前記推定手段が、前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータと前記同定手段により同定される前記パラメータの値により定まる複数の係数値とを用いた所定の推定アルゴリズムにより前記無駄時間後の該第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を示すデータを生成する手段であるときには、前記同定手段は、同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限する手段を具備し、該所定の条件を、該パラメータの値により定まる前記複数の係数値の組み合わせが所定の組み合わせとなるように設定する（請求項 20 記載の発明）。

【0060】このように前記同定手段により同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限することで、該パラメータの値を用いて前記空燃比操作量決定手段により決定する前記操作量が、前記第 1 の排ガスセンサの出力を前記目標値に制御する上で不適切なものとなったり、あるいは、該操作量が頻繁な変動を生じるものとなるような事態を回避することが可能となる。

【0061】尚、前記所定の条件は、実験やシミュレーションを通じて定めておけばよい。

【0062】このように前記パラメータの値を制限する場合において、前記同定手段が同定する前記パラメータは複数であるときには、個々のパラメータ毎に独立的に該パラメータの値を制限する所定の条件（例えば各パラメータの値の範囲）を設定するようにしてもよいが、好ましくは、前記所定の条件は、該複数のパラメータのう

ちの少なくとも二つのパラメータの値の組み合わせを所定の組み合わせに制限する条件を含む（請求項 21 記載の発明）。

【0063】このように、同定するパラメータが複数である場合に、それらのパラメータの値を制限するための条件として、少なくとも二つのパラメータの値の組み合わせを所定の組み合わせに制限する条件を含ませることで、個々のパラメータの値を過剰に制限することなく、第 1 の排ガスセンサの出力（排ガス中の前記特性成分の濃度）を前記目標値に制御し、また、前記操作量の安定性を確保する（該操作量の時間的な変化の形態を平滑的なものとする）上で、最適なパラメータの値を同定することが可能となる。

【0064】さらに、上記のようにパラメータの値を制限する本発明では、前記所定の条件は、前記同定手段が同定する少なくとも一つの前記パラメータについて該パラメータの値の上限及び下限を制限する条件を含むことが好ましい（請求項 22 記載の発明）。

【0065】すなわち、一般に、同定した前記パラメータの値が大き過ぎたり、小さ過ぎるような状況では、このようなパラメータの値を用いて前記操作量を決定し、内燃機関の排ガスの空燃比を制御しても、第 1 の排ガスセンサの出力を前記目標値に的確に制御することができない場合が多い。従って、前記所定の条件として、少なくとも一つの前記パラメータについて該パラメータの値の上限及び下限を制限する条件を含ませることで、該パラメータの値が過大あるいは過小となって、排ガスの空燃比の制御性が低下するような事態を回避することができる。

【0066】また、前記同定手段による同定処理が、所定の制御サイクル毎に、過去の制御サイクルにおいて求めた前記パラメータの値を用いて該パラメータの値を更新しつつ同定するアルゴリズムにより構成されている場合にあっては、該アルゴリズムにおいて用いる前記パラメータの過去値は、前記所定の条件を満たす値に制限してなる値であることが好ましい（請求項 23 記載の発明）。

【0067】このように前記所定の条件を満たす値に制限したパラメータの過去値を用いて該パラメータの値を更新・同定することで、前記所定の条件を満たすパラメータの値が同定されやすくなる。

【0068】以上のように前記パラメータの値を制限する本発明では、より具体的には、例えば前記離散系モデルの応答遅れに係わる要素が、1 次目の自己回帰項に係わる要素と 2 次目の自己回帰項に係わる要素とを含むと共に、前記同定手段が同定する前記パラメータが、前記 1 次目の自己回帰項に係わる要素の第 1 ゲイン係数と前記 2 次目の自己回帰項に係わる要素の第 2 ゲイン係数とを含む場合にあっては、前記所定の条件は、前記第 1 のゲイン係数の値と第 2 のゲイン係数の値とを二つの座標



成分として定まる座標平面上の点が該座標平面上に定められた所定の領域内に存することとして設定する（請求項 2 4 記載の発明）。

【0069】このように前記パラメータである前記第 1 及び第 2 のゲイン係数の値を制限するための前記所定の条件を座標平面上の所定の領域により設定することで、第 1 及び第 2 のゲイン係数の値の組み合わせを適切な組み合わせに制限することができる。

【0070】この場合、前記所定の領域の境界は、どのような形状であってもよいが、好ましくは、直線状に形成する（請求項 2 5 記載の発明）。

【0071】このように前記所定の領域の境界を直線状に形成することで、該所定の領域の境界を簡単な関数式（座標軸と平行になるような定値関数を含む）で表現することが可能となり、前記第 1 及び第 2 のゲイン係数の値が前記所定の条件を満たすか否か（第 1 及び第 2 のゲイン係数の値を座標成分とする座標平面上の点が前記所定の領域内に存するか否か）の判断や、それらの値を前記所定の条件を満たす値に制限するための処理が容易となる。

【0072】さらに、前記所定の領域の境界の少なくとも一部は、前記第 1 のゲイン係数と第 2 のゲイン係数とを変数として表した所定の関数式により設定する（請求項 2 6 記載の発明）。

【0073】これによれば、前記所定の領域により規定される前記所定の条件が、前記第 1 及び第 2 のゲイン係数の値を相互に相関付けた組み合わせにより設定することが可能となり、前記第 1 の排ガスセンサの出力を前記目標値に制御し、また、前記空燃比操作量決定手段により安定的な前記操作量（平滑的な変化を生じる操作量）を決定する上で、最適な前記所定の条件を設定することが可能となる。

【0074】また、上記のように前記第 1 及び第 2 のゲイン係数の値を制限するための前記所定の領域を設定した場合において、前記同定手段は、前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータに基づき同定した前記第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値により定まる前記座標平面上の点が前記所定の領域から逸脱しているとき、該第 1 のゲイン係数の値の変化が最小となるように該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を前記所定の領域内の点の値に変化させることにより、該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を制限する（請求項 2 7 記載の発明）。

【0075】すなわち、前記離散系モデルの 1 次目の自己回帰項に係わる要素の第 1 のゲイン係数と 2 次目の自己回帰項に係わる要素の第 2 のゲイン係数とでは、前者の値の方が後者の値よりも前記空燃比操作量決定手段により決定される前記操作量の信頼性を確保する上で重要である。これは、低次側の自己回帰項（より新しい自己回帰項）の方が、対象排気系の現在の出力（第 1 の排ガ

スセンサの出力）に対する相関が高く、信頼性が高いためである。従って、前記第 1 の排ガスセンサ及び第 2 の排ガスセンサの出力のそれぞれを示すデータに基づき同定した前記第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値により定まる前記座標平面上の点が前記所定の領域から逸脱しているとき、第 1 及び第 2 のゲイン係数の値を該所定の領域内の点の値に制限するために、第 1 のゲイン係数の値をあまり大きく変化させると、前記操作量に対する制御性が悪化する虞れがある。そこで、本発明では、第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を制限するに際しては、第 1 のゲイン係数の値の変化が最小となるように該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を前記所定の領域内の点の値に変化させる。これにより、第 1 及び第 2 のゲイン係数の値の制限によって、前記操作量に対する制御性が悪化してしまうような事態を回避することができる。

【0076】本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置では、前述の如く、同定手段により同定するパラメータの値を所定の条件を満たす値に制限することで、不適切なパラメータの値が同定させるような事態を回避することが可能となるが、第 1 の排ガスセンサの出力を目標値に制御する上で不適切なパラメータの値が同定させるような事態を排除するためには、次のような手法を採用するようにしてもよい。

【0077】すなわち、前記同定手段による前記パラメータの同定処理の安定性を判別する手段を具備し、前記同定手段は、該パラメータの同定処理が不安定であると判別されたとき、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットする（請求項 2 8 記載の発明）。

【0078】あるいは、前記空燃比操作量決定手段による前記操作量の決定処理の安定性を判別する手段を具備し、前記同定手段は、該操作量の決定処理が不安定であると判別されたとき、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットする（請求項 2 9 記載の発明）。

【0079】これによれば、前記同定手段による前記パラメータの同定処理が不安定なものとなって該パラメータが不適切な値に同定される虞れが生じた場合や、不適正に同定されたパラメータの使用等により前記空燃比操作量決定手段による前記操作量の決定処理が不安定なものとなった場合には、前記同定手段は、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットするので、第 1 の排ガスセンサの出力の異常な制御が行われるような事態を回避することができる。

【0080】尚、本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置において、触媒装置の最適な浄化性能を確保する



上では、前記第1の排ガスセンサとして酸素濃度センサを用い、そのセンサの出力の目標値を所定の一定値とすることが好適である。

【0081】次に、本発明のプラントの制御装置は、前述の内燃機関の排気系の空燃比制御装置をより一般化したものであり、前述の目的を達成するために、プラントへの入力を生成するアクチュエータと、前記プラントの出力を検出する第1の検出手段とを備え、該第1の検出手段の出力が所定の目標値になるように前記アクチュエータを制御するプラントの制御装置において、前記アクチュエータにより生成された前記プラントへの入力を検出する第2の検出手段と、前記プラントの応答遅れに係わる要素を含めて該プラントを離散系でモデル化して成る離散系モデルに対し、該離散系モデルの設定すべきパラメータを前記第1の検出手段及び第2の検出手段の出力のそれぞれを示すデータに基づき同定する同定手段と、該同定手段により同定されるパラメータを用いてあらかじめ定められた所定のアルゴリズムにより、前記第1の検出手段の出力が前記目標値になるように前記プラントへの入力を規定する操作量を決定する操作量決定手段とを備えたことを特徴とする（請求項30記載の発明）。

【0082】かかる本発明によれば、前記同定手段によって、前記離散系モデルの設定すべきパラメータを、第1の検出手段及び第2の検出手段のそれぞれの出力を示すデータから適宜、リアルタイムで同定することができるので、前記離散系モデルを、前記プラントの挙動変化や特性変化によらずに、実際のプラント系に整合した精度の高いモデルとすることができる。そして、その離散系モデルの同定したパラメータを用いたアルゴリズムによって、前記第1の検出手段の出力が前記目標値になるようにプラントへの入力、すなわちアクチュエータの出力を規定する操作量を前記操作量決定手段により決定することで、該操作量は実際のプラントに整合したものとなり、第1の検出手段の出力の目標値への制御を安定して精度よく行うことができる。また、前記操作量を決定するためのアルゴリズムは前記離散系モデルのパラメータを用いることで、該アルゴリズムをコンピュータ処理に適した離散時間的なアルゴリズムで構築することができる。

【0083】よって、本発明によれば、プラントの出力を所定の目標値に制御するためのアルゴリズムをコンピュータ処理に適した簡素なものとして構築できると共に、プラントの出力の所定の目標値への制御を安定して精度よく行うことができる。

【0084】かかる本発明のプラントの制御装置では、前記同定手段により同定する前記パラメータは、前記離散系モデルの前記応答遅れに係わる要素のゲイン係数を含むことが好ましい（請求項31記載の発明）。

【0085】また、さらに、前記同定手段に与える前記

第1及び第2の検出手段のそれぞれの出力を示すデータに関しては、該第1の検出手段の出力を示すデータは、前記第1の検出手段の出力と前記目標値との偏差であり、前記第2の検出手段の出力を示すデータは、該第2の検出手段の出力と所定の基準値との偏差であることが好ましい（請求項32記載の発明）。このようにすることで、同定手段におけるデータ処理や離散系モデルの構築が容易なものとなる。

【0086】尚、第1及び第2の検出手段のそれぞれの出力をそのまま用いて前記離散系モデルのパラメータを同定することも可能である。

【0087】また、本発明（請求項30記載の発明）のプラントの制御装置において、前記プラントに比較的長い無駄時間が存在する場合には、該無駄時間は、第1の検出手段の出力を確実に前記目標値に制御する上で妨げとなる。

【0088】そこで、本発明（請求項30記載の発明）のプラントの制御装置では、前記離散系モデルは前記プラントが有する無駄時間に係わる要素を含むと共に、該離散系モデルの基で前記第1の検出手段及び第2の検出手段の出力のそれぞれを示すデータに基づき前記無駄時間後の該第1の検出手段の出力の推定値を示すデータを生成する推定手段を備え、前記操作量決定手段は、前記推定手段により生成されたデータにより示される前記無駄時間後の第1の検出手段の出力の推定値が前記目標値になるように前記操作量を決定する（請求項33記載の発明）。

【0089】このように前記プラントを、その応答遅れに係わる要素と前記無駄時間に係わる要素とを含む離散系モデルで表しておくことで、その離散系モデルに基づいて第1の検出手段及び第2の検出手段のそれぞれの出力を示すデータから、コンピュータ処理に適したアルゴリズムで無駄時間後の該第1の検出手段の出力の推定値を示すデータを生成することができ、しかも該離散系モデルのパラメータは前記同定手段によって実際のプラントに整合するように同定されるので、上記推定値を示すデータを実際の対象排気系に則して適正に推定することができる。そして、この第1の検出手段の出力の推定値が前記目標値になるように前記操作量を決定することで、第1の検出手段の出力の前記目標値への制御を前記無駄時間の影響を排除して、精度よく安定して行うことができる。

【0090】尚、上記のように前記プラントの離散系モデルに無駄時間に係わる要素を含めて、前記推定手段による第1の検出手段の出力の推定を行う場合には、前記同定手段により同定する前記パラメータは、前記離散系モデルの前記応答遅れに係わる要素のゲイン係数と前記無駄時間に係わる要素のゲイン係数とを含むことが好ましい（請求項34記載の発明）。

【0091】また、前記第1の検出手段の出力の推定の

ために前記推定手段が用いる前記第 1 及び第 2 の検出手段のそれぞれの出力を示すデータと、該推定手段が生成する第 1 の検出手段の出力の推定値を示すデータとに関しては、前記第 1 の検出手段の出力を示すデータは、該第 1 の検出手段の出力と前記目標値との偏差であると共に、前記第 2 の検出手段の出力を示すデータは、該第 2 の検出手段の出力と所定の基準値との偏差であり、前記推定手段が生成する前記無駄時間後の前記第 1 の検出手段の出力の推定値を示すデータは、該第 1 の検出手段の出力の推定値と前記目標値との偏差であることが好ましい（請求項 35 記載の発明）。

【0092】このようにすることで、推定手段及び同定手段におけるデータ処理や離散系モデルの構築が容易なものとなると共に、前記操作量決定手段は、前記推定手段から得られる第 1 の検出手段の出力の推定値と前記目標値との偏差が「0」になるように前記操作量を決定すればよいので、その操作量を決定するための処理を容易に行うことができる。

【0093】尚、第 1 の検出手段及び第 2 の検出手段のそれぞれの出力をそのまま用いて前記離散系モデルのパラメータを同定したり、第 1 の検出手段の出力の推定値、あるいはその推定値と前記目標値との偏差を生成するようにすることも可能である。

【0094】また、本発明（請求項 30 乃至 32 記載の発明）のプラントの制御装置においては、前記操作量決定手段は、前記第 1 の検出手段の出力を示すデータからスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定する（請求項 36 記載の発明）。

【0095】同様に、前記推定手段を備えた本発明（請求項 33 乃至 35 記載の発明）のプラントの制御装置においては、前記操作量決定手段は、前記無駄時間後の前記第 1 の検出手段の出力の推定値を示すデータからスライディングモード制御を用いて前記操作量を決定する（請求項 37 記載の発明）。

【0096】すなわち、スライディングモード制御は、前述の通りの制御手法（内燃機関の排気系の空燃比制御装置の請求項 7、8 記載の発明に関する説明を参照）であるので、該スライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することで、第 1 の検出手段の出力の目標値への制御を高い安定性で行うことができる。

【0097】尚、この場合にスライディングモード制御用の超平面を規定する複数の状態量としては、該第 1 の検出手段の出力あるいはその無駄時間後の推定値の複数の時系列データ等が挙げられる。

【0098】上記のように前記操作量を決定するためにスライディングモード制御を用いる場合、さらに好ましくは、前記操作量決定手段は、外乱の影響もしくはモデル化誤差を考慮した適応スライディングモード制御を用いて前記操作量を決定する（請求項 38 記載の発明）。

【0099】すなわち、適応スライディングモード制御

は、前述の通り（内燃機関の排気系の空燃比制御装置の請求項 9 記載の発明に関する説明を参照）、制御対象の状態量を超平面上に収束させるに際して外乱の影響やスライディングモード制御の制御対象のモデル化誤差を補償するための制御則である適応則を付加したものである。このため、該適応スライディングモード制御を用いて前記操作量を決定することで、第 1 の検出手段の出力の目標値への制御を、外乱の影響やモデル化誤差を極力抑えて行うことができ、該制御の安定性をさらに高めることができる。

【0100】また、本発明のプラントの制御装置にあっては、前記操作量決定手段が決定する操作量は前記プラントへの目標入力であり、前記第 2 の検出手段の出力が前記目標入力になるように前記アクチュエータの動作をフィードバック制御するフィードバック制御手段を備える（請求項 39 記載の発明）。

【0101】このように、前記操作量決定手段が決定する操作量を、前記プラントへの目標入力（これはアクチュエータの目標出力である）とし、第 2 の検出手段の出力が前記目標入力になるように前記アクチュエータの動作をフィードバック制御することで、プラントへの入力を、第 1 の検出手段の出力が前記目標値になるように前記操作量決定手段によって決定された前記目標入力に的確に制御することができる。

【0102】尚、前記操作量決定手段によって決定する前記操作量は、前記プラントへの目標入力に限られるものではなく、例えばアクチュエータの動作量の補正量等を前記操作量として決定するようにすることも可能である。また、前記操作量をプラントへの目標入力とした場合であっても、該目標入力、すなわち、アクチュエータの目標出力からフィードフォワード的にアクチュエータの動作を制御するようにすることも可能である。

【0103】上記のようにフィードバック制御手段を備えた場合にあっては、前記フィードバック制御手段は、漸化式形式の制御器により構成されていることが好ましい（請求項 40 記載の発明）。

【0104】すなわち、漸化式形式の制御器は、適応制御器や最適レギュレータ等によって構成されるものであり、このような制御器を用いて、第 2 の検出手段の出力が前記目標入力になるように前記アクチュエータの動作をフィードバック制御することで、アクチュエータの動作状態の変化や経時的な特性変化等の動的な変化に対して、高い追従性で、プラントへの入力を前記目標入力に制御することができ、ひいては、第 1 の検出手段の出力の前記目標値への制御の追従性も高めることができる。

【0105】尚、前記漸化式形式の制御器は、アクチュエータの動作のフィードバック制御量（アクチュエータの動作量の補正量）の現在以前の所定数の時系列データを含む所定の漸化式によって新たなフィードバック制御量を求めるものである。

【0106】また、前記漸化式形式の制御器としては、特に適応制御器が好適である（請求項41記載の発明）。

【0107】以上説明した本発明のプラントの制御装置においては、前述のように前記同定手段によって同定される前記離散系モデルのパラメータを用いて、第1の検出手段の出力を目標値に制御するための前記操作量を決定する場合、実際のプラントの入力変化に対する出力変化のゲインの周波数特性と、離散系モデルの入力変化に対する出力変化のゲインの周波数特性とが基本的には同じような傾向の周波数特性となることが好ましい。

【0108】一方、前記同定手段による前記パラメータの同定は、前記離散系モデル上での前記第1の検出手段の出力を示すデータの同定値と該第1の検出手段の実際の出力を示すデータとの間の誤差が最小になるように該パラメータを同定するアルゴリズムを用いて行うことが可能であり、このようなアルゴリズムを用いて前記パラメータを同定する場合、実際のプラントのゲインが比較的大きなものとなる周波数帯と異なる周波数帯における前記第1及び第2の検出手段の出力の挙動変化が重視されて、前記パラメータが同定されてしまう場合が多々ある。そして、このような場合には、実際のプラントのゲインの周波数特性と離散系モデルのゲインの周波数特性とが整合しないものとなって第1の検出手段の出力を前記目標値に制御する上での確な前記操作量を決定することが困難となる。

【0109】すなわち入力変化に対する出力変化のゲインが比較的大きなものとなる高ゲイン周波数帯（この周波数帯は一般に低周波帯）と該ゲインが比較的小さなものとなる低ゲイン周波数帯（この周波数帯は一般に高ゲイン周波数帯よりも高周波側の周波数帯）とを実際のプラントが有する場合、該プラントの離散系モデルのパラメータを標準的な同定アルゴリズムを用いて同定すると、その同定されたパラメータにより定まるプラントの離散系モデルは上記低ゲイン周波数帯のゲイン特性を重視したものとなり、該離散系モデルの入力変化に対する出力変化のゲインは、全周波数において、実際のプラントの入力変化に対する出力変化のゲインよりも小さくなる傾向がある。特に、この傾向は、前記高ゲイン周波数帯において顕著に現れる。

【0110】そして、このようにプラントの離散系モデルのパラメータが同定されてしまうと、特に、前記高ゲイン周波数帯における外乱的な入力変化によって実際のプラントの出力（第1の検出手段の出力）が目標値に対して変化したとき、上記離散系モデルのパラメータを用いて前記操作量（プラントの入力の操作量）を決定する操作量決定手段は、実際のプラントにおける入力変化よりも大きな入力変化が生じたものと認識して、その入力変化を打ち消すために前記操作量を過大に変化させて決定し、その結果、第1の検出手段の出力の目標値への制

御が不安定なものとなる。

【0111】そこで、本発明のプラントの制御装置では、さらに、前記同定手段は、前記離散系モデル上での前記第1の検出手段の出力を示すデータの同定値と該第1の検出手段の実際の出力を示すデータとの間の誤差が最小になるように前記パラメータを同定するアルゴリズムにより構成され、該同定手段による前記誤差の算出に際して、前記離散系モデル上での前記第1の検出手段の出力を示すデータの同定値と該第1の検出手段の実際の出力を示すデータとに互いに同一の所定の周波数特性で所定の周波数帯に重みを有するフィルタリングを施す手段を備える（請求項42記載の発明）。

【0112】このように、同定手段による誤差の算出に際して、前記離散系モデル上での前記第1の検出手段の出力を示すデータの同定値と該第1の検出手段の実際の出力を示すデータとに互いに同一の周波数特性で所定の周波数帯に重みを有するフィルタリングを施すことで、前記パラメータを同定するための前記誤差を、実際のプラントのゲインが比較的大きなものとなるような周波数帯を重視したものとすることができ、その誤差を最小にするように前記パラメータを同定することで、実際のプラントのゲインの周波数特性と、離散系モデルのゲインの周波数特性とを整合させることができる。ひいては、該離散系モデルの同定したパラメータを用いて前記操作量を決定することで、第1の検出手段の出力を前記目標値に制御する上での確な前記操作量を決定することができる。

【0113】尚、前記フィルタリングは、結果的に、前記第1の検出手段の出力を示すデータの同定値と該第1の検出手段の実際の出力を示すデータとに施されていればよく、前記誤差にフィルタリングを施すようにしたり、あるいは、前記同定値を求める際に必要な前記第1及び第2の検出手段のそれぞれの出力を示すデータにフィルタリングを施すようにしてもよい。

【0114】上記のようにフィルタリングを行う場合、前記フィルタリングの周波数特性は、前記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記プラントのゲインの周波数特性とが略同一傾向の特性となり、且つ、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記プラントの各周波数におけるゲインよりも大きくなるように設定されていることが好ましい（請求項43記載の発明）。

【0115】このようにフィルタリングの周波数特性を設定しておけば、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際のプラントの各周波数におけるゲインよりも大きくなるように前記パラメータが同定されるため、前記離散系モデル上での入力変化に対する出力変化は、各周波数において実際のプラントでの出力変化よりも大きくなる。従って、外乱的な入力変化によって実際のプラントの出力が目標値に対して変化したとき、上記

離散系モデルのパラメータを用いて前記操作量を決定する操作量決定手段は、実際のプラントにおける入力変化よりも小さめの入力変化が生じたものと認識して、前記操作量の変化を全体的に小さめに決定することとなる。これにより、第1の検出手段の出力の目標値への制御に際して、前記プラントの入力の過剰な変化が抑制され、安定した制御を行うことができる。

【0116】あるいは、前記フィルタリングの周波数特性は、前記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記プラント系のゲインの周波数特性とが所定の周波数帯において略同一特性となり、且つ、該所定の周波数帯以外の周波数帯では、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際の前記プラントの各周波数におけるゲインよりも大きくなるように設定するようにしてもよい（請求項44記載の発明）。

【0117】これによれば、プラントのゲインが比較的大きなものとなる高ゲイン周波数帯における前記離散系モデルのゲインの周波数特性と、実際の前記プラントのゲインの周波数特性とが略同一特性となり、且つ、プラントのゲインが比較的小さなものとなる低ゲイン周波数帯では、前記離散系モデルの各周波数におけるゲインが、実際のプラントの各周波数におけるゲインよりも大きくなるように前記離散系モデルのパラメータを同定することが可能となる。そして、このようにすることで、第1の検出手段の出力を目標値に制御する上で重要なプラントの高ゲイン周波数帯では、第1の検出手段の出力が目標値に対して変化したとき、実際のプラントの特性に則して速やかに第1の検出手段の出力が目標値に戻るよう前記操作量が決定されるので、第1の検出手段の出力の目標値への追従性（制御の速応性）を高めることができる。また、プラントの低ゲイン周波数帯では、前記請求項43記載の発明に関して説明したように、前記操作量が小さめに決定されるので、制御の安定性を高めることができる。

【0118】また、本発明のプラントの制御装置では、前記同定手段は、前記第1の検出手段の出力の特定の挙動に応じて前記パラメータの同定を行うことが好ましい（請求項45記載の発明）すなわち、本願発明者等の知見によれば、前記離散系モデルのパラメータを同定する場合、第1の検出手段の出力を目標値に制御するための操作量を決定する上で好適なパラメータを同定することができる第1の検出手段の出力の挙動状態があり、第1の検出手段の出力の他の挙動状態では、同定されるパラメータの大きさが小さくなり過ぎて、前記操作量を決定する上では不向きなものとなる場合がある。

【0119】そこで、前記第1の検出手段の出力の特定の挙動に応じて前記パラメータの同定を行うようにすることで、第1の検出手段の出力の目標値への制御のために好適なパラメータを同定することができる。

【0120】この場合、前記第1の検出手段の出力が前

記特定の挙動状態にあるか否かの判断は、前記第1の検出手段の出力を示すデータの現在以前の所定数の時系列データにより定まる所定の関数の値に基づき行うことが可能である（請求項46記載の発明）。

【0121】以上説明した本発明のプラントの制御装置にあっては、前記同定手段により同定される前記パラメータの値が不適切なものとなると、前記操作量決定手段により決定される前記操作量が前記第1の検出手段の出力（プラントの出力）を前記目標値に制御する上で、不適正なものとなる場合がある。

【0122】また、前記第1の検出手段の出力を前記目標値に制御する上では支障のない前記パラメータの値が前記同定手段により同定される場合であっても、該パラメータの値によっては、該パラメータの値を用いて決定される前記操作量の頻繁な変動（該操作量の高周波振動的な時間的変化）を生じる場合もある。そして、このように場合には、第1の検出手段の出力を目標値に制御する上では支障がないものの、前記プラントへの入力を規定する前記操作量が頻繁に変動するため、前記アクチュエータの動作も頻繁な変動を生じる。従って、このような状況は、アクチュエータの安定な動作を行う上では好ましくない。

【0123】さらに、特に、前記推定手段を具備した場合において、該推定手段により、前記第1の検出手段及び第2の検出手段の出力のそれぞれを示すデータと前記同定手段により同定される前記パラメータの値により定まる複数の係数値とを用いた所定の推定アルゴリズムにより前記無駄時間後の該第1の検出手段の出力の推定値を示すデータを生成する場合にあっては、前記操作量の頻繁な変動を生じるか否かは、前記複数の係数値の組み合わせの影響を受け易い。

【0124】そこで、本発明のプラントの制御装置にあっては、前記同定手段は、同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限する手段を具備する（請求項47記載の発明）。

【0125】特に、前記推定手段を具備した場合において、前記推定手段が、前記第1の検出手段及び第2の検出手段の出力のそれぞれを示すデータと前記同定手段により同定される前記パラメータの値により定まる複数の係数値とを用いた所定の推定アルゴリズムにより前記無駄時間後の該第1の検出手段の出力の推定値を示すデータを生成する手段であるときには、前記同定手段は、同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限する手段を具備し、該所定の条件を、該パラメータの値により定まる前記複数の係数値の組み合わせが所定の組み合わせとなるように設定する（請求項48記載の発明）。

【0126】このように前記同定手段により同定する前記パラメータの値を所定の条件を満たす値に制限することで、該パラメータの値を用いて前記操作量決定手段に

より決定する前記操作量が、前記第1の検出手段の出力（プラントの出力）を前記目標値に制御する上で不適切なものとなったり、あるいは、該操作量が頻繁な変動を生じるものとなるような事態を回避することが可能となる。

【0127】尚、前記所定の条件は、実験やシミュレーションを通じて定めておけばよい。

【0128】このように前記パラメータの値を制限する場合において、前記同定手段が同定する前記パラメータは複数であるときには、個々のパラメータ毎に独立的に該パラメータの値を制限する所定の条件（例えば各パラメータの値の範囲）を設定するようにしてもよいが、好ましくは、前記所定の条件は、該複数のパラメータのうちの少なくとも二つのパラメータの値の組み合わせを所定の組み合わせに制限する条件を含む（請求項49記載の発明）。

【0129】このように、同定するパラメータが複数である場合に、それらのパラメータの値を制限するための条件として、少なくとも二つのパラメータの値の組み合わせを所定の組み合わせに制限する条件を含ませることで、個々のパラメータの値を過剰に制限することなく、第1の検出手段の出力（プラントの出力）を前記目標値に制御し、また、前記操作量の安定性を確保する（該操作量の時間的な変化の形態を平滑的なものとする）上で、最適なパラメータの値を同定することが可能となる。

【0130】さらに、上記のようにパラメータの値を制限する本発明では、前記所定の条件は、前記同定手段が同定する少なくとも一つの前記パラメータについて該パラメータの値の上限及び下限を制限する条件を含むことが好ましい（請求項50記載の発明）。

【0131】すなわち、一般に、同定した前記パラメータの値が大き過ぎたり、小さ過ぎるような状況では、このようなパラメータの値を用いて前記操作量を決定し、その操作量によりプラントへの入力を制御しても、第1の検出手段の出力を前記目標値に的確に制御することができない場合が多い。従って、前記所定の条件として、少なくとも一つの前記パラメータについて該パラメータの値の上限及び下限を制限する条件を含ませることで、該パラメータの値が過大あるいは過小となって、プラントの出力の制御性が低下するような事態を回避することができる。

【0132】また、前記同定手段による同定処理が、所定の制御サイクル毎に、過去の制御サイクルにおいて求めた前記パラメータの値を用いて該パラメータの値を更新しつつ同定するアルゴリズムにより構成されている場合にあっては、該アルゴリズムにおいて用いる前記パラメータの過去値は、前記所定の条件を満たす値に制限してなる値であることが好ましい（請求項51記載の発明）。

【0133】このように前記所定の条件を満たす値に制限したパラメータの過去値を用いて該パラメータの値を更新・同定することで、前記所定の条件を満たすパラメータの値が同定されやすくなる。

【0134】以上のように前記パラメータの値を制限する本発明では、より具体的には、例えば前記離散系モデルの応答遅れに係わる要素が、1次目の自己回帰項に係わる要素と2次目の自己回帰項に係わる要素とを含むと共に、前記同定手段が同定する前記パラメータが、前記1次目の自己回帰項に係わる要素の第1ゲイン係数と前記2次目の自己回帰項に係わる要素の第2ゲイン係数とを含む場合にあっては、前記所定の条件は、前記第1のゲイン係数の値と第2のゲイン係数の値とを二つの座標成分として定まる座標平面上の点が該座標平面上に定めた所定の領域内に存することとして設定する（請求項52記載の発明）。

【0135】このように前記パラメータである前記第1及び第2のゲイン係数の値を制限するための前記所定の条件を座標平面上の所定の領域により設定することで、第1及び第2のゲイン係数の値の組み合わせを適切な組み合わせに制限することができる。

【0136】この場合、前記所定の領域の境界は、どのような形状であってもよいが、好ましくは、直線状に形成する（請求項53記載の発明）。

【0137】このように前記所定の領域の境界を直線状に形成することで、該所定の領域の境界を簡単な関数式（座標軸と平行になるような定値関数を含む）で表現することが可能となり、前記第1及び第2のゲイン係数の値が前記所定の条件を満たすか否か（第1及び第2のゲイン係数の値を座標成分とする座標平面上の点が前記所定の領域内に存するか否か）の判断や、それらの値を前記所定の条件を満たす値に制限するための処理が容易となる。

【0138】さらに、前記所定の領域の境界の少なくとも一部は、前記第1のゲイン係数と第2のゲイン係数とを変数として表した所定の関数式により設定する（請求項54記載の発明）。

【0139】これによれば、前記所定の領域により規定される前記所定の条件が、前記第1及び第2のゲイン係数の値を相互に相関付けた組み合わせにより設定することが可能となり、前記第1の検出手段の出力を前記目標値に制御し、また、前記操作量決定手段により安定的な前記操作量（平滑的な変化を生じる操作量）を決定する上で、最適な前記所定の条件を設定することが可能となる。

【0140】また、上記のように前記第1及び第2のゲイン係数の値を制限するための前記所定の領域を設定した場合において、前記同定手段は、前記第1の検出手段及び第2の検出手段の出力のそれぞれを示すデータに基づき同定した前記第1のゲイン係数及び第2ゲイン係数

の値により定まる前記座標平面上の点が前記所定の領域から逸脱しているとき、該第 1 のゲイン係数の値の変化が最小となるように該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を前記所定の領域内の点の値に変化させることにより、該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を制限する（請求項 5 記載の発明）。

【0141】すなわち、前記離散系モデルの 1 次目の自己回帰項に係わる要素の第 1 のゲイン係数と 2 次目の自己回帰項に係わる要素の第 2 のゲイン係数とでは、前者の値の方が後者の値よりも前記操作量決定手段により決定される前記操作量の信頼性を確保する上で重要である。これは、低次側の自己回帰項（より新しい自己回帰項）の方が、プラントの現在の出力（第 1 の検出手段の出力）に対する相関が高く、信頼性が高いためである。従って、前記第 1 の検出手段及び第 2 の検出手段の出力のそれぞれを示すデータに基づき同定した前記第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値により定まる前記座標平面上の点が前記所定の領域から逸脱しているとき、第 1 及び第 2 のゲイン係数の値を該所定の領域内の点の値に制限するために、第 1 のゲイン係数の値をあまり大きく変化させると、前記操作量が急激な変化を生じる虞れがある。そこで、本発明では、第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を制限するに際しては、第 1 のゲイン係数の値の変化が最小となるように該第 1 のゲイン係数及び第 2 のゲイン係数の値を前記所定の領域内の点の値に変化させる。これにより、第 1 及び第 2 のゲイン係数の値の制限によって、前記操作量が急激に変化してしまうような事態を回避することができる。

【0142】本発明のプラントの制御装置では、前述の如く、同定手段により同定するパラメータの値を所定の条件を満たす値に制限することで、不適切なパラメータの値が同定させるような事態を回避することが可能となるが、第 1 の検出手段の出力を目標値に制御する上で不適切なパラメータの値が同定させるような事態を排除するためには、次のような手法を採用するようにしてもよい。

【0143】すなわち、前記同定手段による前記パラメータの同定処理の安定性を判別する手段を具備し、前記同定手段は、該パラメータの同定処理が不安定であると判別されたとき、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットすることが好ましい（請求項 5 記載の発明）。

【0144】あるいは、前記操作量決定手段による前記操作量の決定処理の安定性を判別する手段を具備し、前記同定手段は、該操作量の決定処理が不安定であると判別されたとき、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットすることが好ましい（請求項 5 記載の発明）。

【0145】これによれば、前記同定手段による前記パラメータの同定処理が不安定なものとなって該パラメータが不適切な値に同定される虞れが生じた場合や、不適正に同定されたパラメータの使用等により前記操作量決定手段による前記操作量の決定処理が不安定なものとなった場合には、前記同定手段は、前記パラメータの値又は該パラメータを同定する過程で該同定手段が使用する所定の変数の値を所定の初期値にリセットするので、第 1 の検出手段の出力の異常な制御が行われるような事態を回避することができる。

【0146】

【発明の実施の形態】本発明の第 1 の実施形態を図 1 乃至図 23 を参照して説明する。尚、本実施形態は、本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置の一実施形態であると同時に、本発明のプラントの制御装置の一実施形態でもある。

【0147】図 1 は本実施形態の制御装置の全体構成をブロック図で表したものであり、同図 1 において、1 は例えば 4 気筒のエンジン（内燃機関）である。このエンジン 1 の各気筒毎に生成される排ガスは、エンジン 1 の近傍で共通の排気管 2 に集合され、該排気管 2 を介して大気中に放出される。そして、排気管 2 には、排ガスを浄化するために、三元触媒を用いた二つの触媒装置 3、4 が該排気管 2 の上流側から順に介装されている。

【0148】尚、下流側の触媒装置 4 はこれを省略してもよい。また、本発明のプラントの制御装置に対応させると、前記エンジン 1 はアクチュエータに相当するものである。

【0149】本実施形態の制御装置は、エンジン 1 の排気系の空燃比を制御するもので、触媒装置 3 の上流側（より詳しくはエンジン 1 の各気筒毎の排ガスの集合箇所）で排気管 2 に設けられた第 2 排ガスセンサ（第 2 検出手段）としての広域空燃比センサ 5 と、触媒装置 3 の下流側（触媒装置 4 の上流側）で排気管 2 に設けられた第 1 排ガスセンサ（第 1 検出手段）としての O<sub>2</sub> センサ（酸素濃度センサ）6 と、これらのセンサ 5、6 の出力等に基づき後述の制御処理を行う制御ユニット 7 とにより構成されている。尚、制御ユニット 7 には、前記広域空燃比センサ 5 や O<sub>2</sub> センサ 6 の出力の他に、エンジン 1 の動作状態を検出するための図示しない回転数センサや吸気圧センサ、冷却水温センサ等、各種のセンサの検出信号が与えられるようになっている。

【0150】広域空燃比センサ 5 は、O<sub>2</sub> センサを用いて構成されたものであり、触媒装置 3 に進入するエンジン 1 の排ガスの空燃比（これは触媒装置 3 に進入する排ガスの酸素濃度により示され、エンジン 1 内で燃焼させる混合気の空燃比に相当する）に応じたレベルの出力を生成する。この場合、広域空燃比センサ 5（以下、LAF センサ 5 と称する）は、該センサ 5 を構成する O<sub>2</sub> センサの出力から図示しないリニアライザ等の検出回路に

よって、触媒装置 3 に進入する排ガスの空燃比の広範囲にわたって、それに比例したレベルの出力 KACT、すなわち、該排ガスの空燃比の検出値を示す出力 KACT を生成するものである。このような LAF センサ 5 は本願出願人が特開平 4-369471 号公報にて詳細に開示しているので、ここではさらなる説明を省略する。

【0151】また、触媒装置 3 の下流側の O<sub>2</sub> センサ 6 は、触媒装置 3 を通過した排ガス中の酸素濃度に応じたレベルの出力 V02/OUT、すなわち、該排ガス中の酸素濃度の検出値を示す出力 V02/OUT を通常の O<sub>2</sub> センサと同様に生成する。この O<sub>2</sub> センサ 6 の出力 V02/OUT は、図 2 に示すように、触媒装置 3 を通過した排ガスの空燃比（酸素濃度）が理論空燃比近傍の範囲 Δ に存するような状態で、該排ガスの酸素濃度にほぼ比例した高感度な変化を生じるものとなる。

【0152】制御ユニット 7 はマイクロコンピュータを用いて構成されたものであり、その主要な機能的構成として、エンジン 1 への基本燃料噴射量 T<sub>im</sub> を求める基本燃料噴射量算出部 8 と、基本燃料噴射量 T<sub>im</sub> を補正するための第 1 補正係数 K<sub>TOTAL</sub> 及び第 2 補正係数 K<sub>CMDM</sub> をそれぞれ求める第 1 補正係数算出部 9 及び第 2 補正算出部 10 とを具備する。

【0153】前記基本燃料噴射量算出部 8 は、エンジン 1 の回転数 NE と吸気圧 PB とから、それらにより規定されるエンジン 1 の基準の燃料噴射量をあらかじめ設定されたマップを用いて求め、その基準の燃料噴射量をエンジン 1 の図示しないスロットル弁の有効開口面積に応じて補正することで基本燃料噴射量 T<sub>im</sub> を算出するものである。

【0154】また、第 1 補正係数算出部 9 が求める第 1 補正係数 K<sub>TOTAL</sub> は、エンジン 1 の排気還流率（エンジン 1 の吸入空気中に含まれる排気ガスの割合）や、エンジン 1 の図示しないキャニスタのパージ時にエンジン 1 に供給される燃料のパージ量、エンジン 1 の冷却水温、吸気温等を考慮して前記基本燃料噴射量 T<sub>im</sub> を補正するためのものである。

【0155】また、第 2 補正係数算出部 10 が求める第 2 補正係数 K<sub>CMDM</sub> は、後述する空燃比操作量決定部 13 によって決定される目標空燃比 K<sub>CMD</sub> に対応してエンジン 1 へ流入する燃料の冷却効果による吸入空気の充填効率を考慮して基本燃料噴射量 T<sub>im</sub> を補正するためのものである。

【0156】そして、これらの第 1 補正係数 K<sub>TOTAL</sub> 及び第 2 補正係数 K<sub>CMDM</sub> による基本燃料噴射量 T<sub>im</sub> の補正は、第 1 補正係数 K<sub>TOTAL</sub> 及び第 2 補正係数 K<sub>CMDM</sub> を基本燃料噴射量 T<sub>im</sub> に乗算することで行われ、この補正によりエンジン 1 の要求燃料噴射量 T<sub>cy1</sub> が得られる。

【0157】尚、前記基本燃料噴射量 T<sub>im</sub> や、第 1 補正係数 K<sub>TOTAL</sub>、第 2 補正係数 K<sub>CMDM</sub> のより具体的な算出手法は、特開平 5-79374 号公報等に本願出願人が開

示しているため、ここでは詳細な説明を省略する。

【0158】制御ユニット 7 は、上記の機能的構成の他、LAF センサ 5 の出力 KACT と所定の基準値 FLAF/BASE（本実施形態ではこの基準値 FLAF/BASE は空燃比換算で約「1」（一定値）とされている）との偏差 kact（＝KACT－FLAF/BASE）を求める減算処理部 11 と、O<sub>2</sub> センサ 6 の出力 V02/OUT とその目標値 V02/TARGET（本実施形態ではこの目標値 V02/TARGET は触媒装置 3 の最適な浄化性能が得られる所定の一定値とされている）との偏差 V02（＝V02/OUT－V02/TARGET）を求める減算処理部 12 と、これらの偏差 kact、V02 のデータをそれぞれ LAF センサ 5 の出力及び O<sub>2</sub> センサ 6 の出力を示すデータとして用い（以下、偏差 kact、V02 をそれぞれ LAF センサ 5 の偏差出力 kact 及び O<sub>2</sub> センサ 6 の偏差出力 V02 と称する）、LAF センサ 5 の箇所の排ガスの目標空燃比 K<sub>CMD</sub> を触媒装置 3 に進入するエンジン 1 の排ガスの空燃比を規定する操作量として決定する空燃比操作量決定部 13 と、この目標空燃比 K<sub>CMD</sub> に LAF センサ 5 の出力 KACT（触媒装置 3 に進入する排ガスの検出空燃比）を一致（収束）させるようにエンジン 1 の燃料噴射量（燃料供給量）をフィードバック制御するフィードバック制御部 14 とを備えている。

【0159】前記空燃比操作量決定部 13 は、その詳細は後述するが、排気管 2 の LAF センサ 5 の箇所から O<sub>2</sub> センサ 6 の箇所にかけの触媒装置 3 を含む排気系（図 1 で参照符号 E を付した部分）を制御対象とし、その対象排気系 E（プラント）に存する無駄時間や該対象排気系 E の挙動変化等を考慮しつつ、スライディングモード制御（より詳しくは適応スライディングモード制御）を用いて O<sub>2</sub> センサ 6 の出力 V02/OUT をその目標値 V02/TARGET に整定させるように（O<sub>2</sub> センサ 6 の偏差出力 V02 を「0」に収束させるように）、LAF センサ 5 の箇所の目標空燃比 K<sub>CMD</sub> を逐次決定するものである。

【0160】また、フィードバック制御部 14 は、本実施形態では、エンジン 1 の各気筒への全体的な燃料噴射量をフィードバック制御する大局的フィードバック制御部 15 と、エンジン 1 の各気筒毎の燃料噴射量をフィードバック制御する局所的フィードバック制御部 16 とにより構成されている。

【0161】前記大局的フィードバック制御部 15 は、LAF センサ 5 の出力 KACT が前記目標空燃比 K<sub>CMD</sub> に収束するように、前記要求燃料噴射量 T<sub>cy1</sub> を補正する（要求燃料噴射量 T<sub>cy1</sub> に乗算する）フィードバック補正係数 K<sub>FB</sub> を逐次求めるものであり、LAF センサ 5 の出力 KACT と目標空燃比 K<sub>CMD</sub> との偏差に応じて周知の PID 制御を用いて前記フィードバック補正係数 K<sub>FB</sub> としてのフィードバック操作量 K<sub>LAF</sub> を生成する PID 制御器 17 と、LAF センサ 5 の出力 KACT と目標空燃比 K<sub>CMD</sub> とからエンジン 1 の運転状態の変化や特性変化等を考慮して前記フィードバック補正係数 K<sub>FB</sub> を規定するフィードバッ



ク操作量KSTRを適応的に求める漸化式形式の制御器である適応制御器18（図ではSTRと称している）とをそれぞれ独立的に具備している。

【0162】ここで、本実施形態では、前記PID制御器17が生成するフィードバック操作量KLAFは、LAFセンサ5の出力KACT（検出空燃比）が目標空燃比KCMDに一致している状態で「1」となり、該操作量KLAFをそのまま前記フィードバック補正係数KFBとして使用できるようになっている。一方、適応制御器18が生成するフィードバック操作量KSTRはLAFセンサ5の出力KACTが目標空燃比KCMDに一致する状態で「目標空燃比KCMD」となるもので、該フィードバック操作量KSTRを除算処理部19で目標空燃比KCMDにより除算してなるフィードバック操作量kstr（ $=KSTR/KCMD$ ）が前記フィードバック補正係数KFBとして使用できるようになっている。

【0163】そして、大局的フィードバック制御部15は、PID制御器17により生成されるフィードバック操作量KLAFと、適応制御器18が生成するフィードバック操作量KSTRを目標空燃比KCMDにより除算してなるフィードバック操作量kstrとを切換部20で適宜、択一的に選択して、いずれか一方のフィードバック操作量KLAF又はkstrを前記フィードバック補正係数KFBとして使用し、該補正係数KFBを前記要求燃料噴射量Tcylに乗算することにより該要求燃料噴射量Tcylを補正する。尚、かかる大局的フィードバック制御部15（特に適応制御器18）については後にさらに詳細に説明する。

【0164】また、前記局所的フィードバック制御部16は、LAFセンサ5の出力KACTから各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ （ $n=1, 2, 3, 4$ ）を推定するオブザーバ21と、このオブザーバ21により推定された各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ から各気筒毎の空燃比のばらつきを解消するよう、PID制御を用いて各気筒毎の燃料噴射量のフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ をそれぞれ求める複数（気筒数個）のPID制御器22とを具備する。

【0165】ここで、オブザーバ21は、それを簡単に説明すると、各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ の推定を次のように行うものである。すなわち、エンジン1からLAFセンサ5の箇所（各気筒毎の排ガスの集合部）にかけてのシステムを、各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ からLAFセンサ5で検出される排ガスの空燃比を生成するシステムと考え、これを、LAFセンサ5の検出応答遅れ（例えば一次遅れ）や、各気筒毎の排ガスの集合部における空燃比に対する各気筒毎の空燃比の時間的寄与度を考慮してモデル化する。そして、そのモデルの基で、LAFセンサ5の出力KACT（検出空燃比）から、逆算的に各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ を推定する。

【0166】尚、このようなオブザーバ21は、本願出願人が例えば特開平7-83094号公報に詳細に開示しているので、ここでは、さらなる説明を省略する。

【0167】また、局所的フィードバック制御部16の

各PID制御器22は、LAFセンサ5の出力KACTを、前回の制御サイクルで各PID制御器22により求められたフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ の全気筒についての平均値により除算してなる値を各気筒の空燃比の目標値として、その目標値とオブザーバ21により求められた各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ との偏差が解消するように、今回の制御サイクルにおける、各気筒毎のフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ を求める。

【0168】そして、局所的フィードバック制御部16は、前記要求燃料噴射量Tcylに大局的フィードバック制御部15のフィードバック補正係数KFBを乗算してなる値に、各気筒毎のフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ を乗算することで、各気筒の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ （ $n=1, 2, 3, 4$ ）を求める。

【0169】このようにして求められる各気筒の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ は、制御ユニット7に備えた各気筒毎の付着補正部23により吸気管の壁面付着を考慮した補正が各気筒毎になされた後、エンジン1の図示しない燃料噴射装置に与えられ、その付着補正がなされた出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ で、エンジン1の各気筒への燃料噴射が行われるようになっている。

【0170】尚、上記付着補正については、本願出願人が例えば特開平8-21273号公報に詳細に開示しているので、ここではさらなる説明を省略する。また、図1において、参照符号24を付したセンサ出力選択処理部は、前記オブザーバ21による各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ の推定に適したLAFセンサ5の出力KACTをエンジン1の運転状態に応じて選択するもので、これについては、本願出願人が特開平7-259488号公報にて詳細に開示しているので、ここではさらなる説明を省略する。

【0171】次に、前記空燃比操作量決定部13を詳細に説明する。

【0172】前述の如く、空燃比操作量決定部13は、前記対象排気系Eに存する無駄時間や該排気系Aの挙動変化等を考慮しつつ、適応スライディングモード制御を用いてO<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTをその目標値V02/TARGETに整定させるようにLAFセンサ5の箇所の排ガスの目標空燃比KCMDを逐次決定するものである。そして、このような制御処理を行うために、本実施形態では、あらかじめ前記対象排気系Eを、前記LAFセンサ5の出力KACT（触媒装置3に進入する排ガスの空燃比）から無駄時間要素及び応答遅れ要素を介してO<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUT（触媒装置3を通過した排ガス中の酸素濃度）を生成するプラントと見なし、それを離散系でモデル化している。

【0173】この場合、本実施形態では、空燃比操作量決定部13による処理の簡素化を図るために、LAFセンサ5の出力KACT及びO<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTの代わりに、LAFセンサ5の前記偏差出力kact（ $=KACT -$



FLAF/BASE) と O<sub>2</sub> センサ 6 の前記偏差出力 V02 (=V02/OUT - V02/TARGET) とを用いて、対象排気系 E の離散系モデルを次式 (1) により表す。

$$V02(k+1)=a_1 \cdot V02(k)+a_2 \cdot V02(k-1)+b_1 \cdot kact(k-d) \quad (1)$$

【0175】この式 (1) は対象排気系 E が LAF センサ 5 の偏差出力 kact から、無駄時間要素及び応答遅れ要素を介して O<sub>2</sub> センサ 6 の偏差出力 V02 を生成するプラントであるとみなして、該対象排気系 E を離散系でモデル化してなるもの（無駄時間を有する自己回帰モデル）であり、上式 (1) において、「k」は離散時間的な制御サイクルの番数を示し、「d」は対象排気系 E の無駄時間を制御サイクル数で表したものである。この場合、本実施形態では、対象排気系 E の無駄時間は、例えば制御サイクルの周期を 30～100ms として、d 制御サイクル分の時間 (d=3～10) とされている。また、上式 (1) の右辺第 1 項及び第 2 項はそれぞれ対象排気系 E の応答遅れ要素に対応するもので、第 1 項は 1 次目の自己回帰項、第 2 項は 2 次目の自己回帰項である。そして、「a1」、「a2」はそれぞれ 1 次目の自己回帰項、2 次目の自己回帰項のゲイン係数である。さらに、上式 (1) の右辺第 3 項は対象排気系 E の無駄時間要素に対応するもので、「b1」はその無駄時間要素に係わるゲイン係数である。これらのゲイン係数 a1, a2, b1 は離散系モデルを規定するパラメータである。

【0176】本実施形態における前記空燃比操作量決定部 13 は、式 (1) により表される離散系モデルに基づき、所定（一定）の制御サイクルで前述のような制御処理を行うもので、その機能的構成は、図 3 に示すように大別される。

【0177】すなわち、空燃比操作量決定部 13 は、LAF センサ 5 の偏差出力 kact 及び O<sub>2</sub> センサ 6 の偏差出力 V02 のデータから、前記離散系モデルの設定すべきパラメータである前記ゲイン係数 a1, a2, b1 の値を制御サイクル毎に逐次同定する同定器 25 と、LAF センサ 5 の偏差出力 kact 及び O<sub>2</sub> センサ 6 の偏差出力 V02 のデータから、前記同定器 25 により同定された前記ゲイン係数 a1, a2, b1 の同定値 a1 ハット, a2 ハット, b1 ハット

（以下、同定ゲイン係数 a1 ハット, a2 ハット, b1 ハットという）を用いて対象排気系 E の無駄時間 d 後の O<sub>2</sub> センサ 6 の偏差出力 V02 の推定値 V02 バー（以下、推定偏差出力 V02 バーという）を制御サイクル毎に逐次求める

$$\hat{V02}(k)=\hat{a1}(k-1) \cdot V02(k-1)+\hat{a2}(k-1) \cdot V02(k-2)+\hat{b1}(k-1) \cdot kact(k-d-1) \quad (2)$$

【0183】尚、この式 (2) は、式 (1) を 1 制御サイクル分、過去側にシフトし、ゲイン係数 a1, a2, b1 を同定ゲイン係数 a1 ハット (k-1), a2 ハット (k-1), b1 ハット (k-1) で置き換えたものである。また、式 (2) の第 3 項で用いる「d」は、対象排気系 E の無駄時間の設定値（より詳しくは無駄時間の設定値を制御サイクル数

【0174】

【数 1】

推定器 26 と、該推定器 26 により求められた O<sub>2</sub> センサ 6 の推定偏差出力 V02 バーから、前記同定ゲイン係数 a1 ハット, a2 ハット, b1 ハットを用いて適応スライディングモード制御により LAF センサ 5 の箇所の排ガス

（触媒装置 3 に進入する排ガス）の目標空燃比 KCMD を制御サイクル毎に逐次決定するスライディングモード制御器 27 とにより構成されている。

【0178】これらの同定器 25、推定器 26 及びスライディングモード制御器 27 による演算処理のアルゴリズムは前記離散系モデルに基づいて以下のように構築されている。

【0179】まず、前記同定器 25 に関し、前記離散系モデルのゲイン係数 a1, a2, b1 に対応する実際の対象排気系 E のゲイン係数は一般に該対象排気系 E の挙動状態や経時的な特性変化等によって変化する。従って、前記離散系モデルの実際の対象排気系 E に対するモデル化誤差を極力少なくして該離散系モデルの精度を高めるためには、離散系モデルのゲイン係数 a1, a2, b1 を実際の対象排気系 E の挙動状態等に則して適宜、リアルタイムで同定することが好ましい。

【0180】前記同定器 25 は、上記のように離散系モデルのモデル化誤差を極力小さくするために、前記ゲイン係数 a1, a2, b1 をリアルタイムで逐次同定するものであり、その同定処理は次のように行われる。

【0181】すなわち、同定器 25 は、所定の制御サイクル毎に、まず、今現在設定されている離散系モデルの同定ゲイン係数 a1 ハット, a2 ハット, b1 ハット、すなわち前回の制御サイクルで決定した同定ゲイン係数 a1 ハット (k-1), a2 ハット (k-1), b1 ハット (k-1) と、LAF センサ 5 の偏差出力 kact 及び O<sub>2</sub> センサ 6 の偏差出力 V02 の過去に得られたデータとを用いて、次式 (2) により今現在設定されている離散系モデル上での O<sub>2</sub> センサ 6 の今現在の偏差出力 V02 の同定値 V02 ハット（以下、同定偏差出力 V02 ハットという）を求める。

【0182】

【数 2】

で表したものである。その設定値は対象排気系 E の実際の無駄時間と等しいか、もしくはそれよりも若干長い時間になるように設定されている。

【0184】ここで、次式 (3), (4) で定義されるベクトル  $\theta$  及び  $\phi$  を導入すると (式 (3), (4) 中の添え字「T」は転置を意味する。以下同様。)、

【0185】

$$\Theta^T(k) = [\hat{a}_1(k) \ \hat{a}_2(k) \ \hat{b}_1(k)]$$

【数3】

(3)

【0186】

$$\xi^T(k) = [V02(k-1) \ V02(k-2) \ kact(k-d-1)]$$

【数4】

(4)

【0187】前記式(2)は、次式(5)により表される。

$$\hat{V}02(k) = \Theta^T(k-1) \cdot \xi(k)$$

【0188】

【数5】

(5)

【0189】さらに同定器25は、前記式(2)あるいは式(5)により求められるO<sub>2</sub> センサ6の同定偏差出力V02 ハットと今現在のO<sub>2</sub> センサ6の偏差出力V02 との偏差id/eを離散系モデルの実際の対象排気系Eに対する

$$id/e(k) = V02(k) - \hat{V}02(k)$$

るモデル化誤差を表すものとして次式(6)により求める(以下、偏差id/eを同定誤差id/eという)。

【0190】

【数6】

(6)

【0191】そして、同定器25は、上記同定誤差id/eを最小にするように新たな同定ゲイン係数a1(k) ハット、a2(k) ハット、b1(k) ハット、換言すれば、これらの同定ゲイン係数を要素とする新たな前記ベクトル $\Theta(k)$ (以下、このベクトルを同定ゲイン係数ベクトル $\Theta$ という)を求めるもので、その算出を、次式(7)により行う。すなわち、同定器25は、前回の制御サイクル

$$\Theta(k) = \Theta(k-1) + K\theta(k) \cdot id/e(k)$$

(7)

で決定した同定ゲイン係数a1ハット(k-1)、a2ハット(k-1)、b1ハット(k-1)を、同定誤差id/eに比例させた量だけ変化させることで新たな同定ゲイン係数a1(k) ハット、a2(k) ハット、b1(k) ハットを求める。

【0192】

【数7】

【0193】ここで、式(7)中の「 $K\theta$ 」は次式(8)により決定される三次のベクトル(各同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットの同定誤差id/eに応じた変化度合いを規定するゲイン係数ベクトル)であ

る。

【0194】

【数8】

$$K\theta(k) = \frac{P(k-1) \xi(k)}{1 + \xi^T(k) P(k-1) \xi(k)}$$

(8)

【0195】また、上式(8)中の「P」は次式(9)の漸化式により決定される三次の正方行列である。

【0196】

【数9】

$$P(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} \left[ 1 - \frac{\lambda_2(k) P(k-1) \xi(k) \xi^T(k)}{\lambda_1(k) + \lambda_2(k) \xi^T(k) P(k-1) \xi(k)} \right] P(k-1) \quad (9)$$

(但しI:単位行列)

【0197】尚、式(9)中の「 $\lambda_1$ 」、「 $\lambda_2$ 」は  $0 < \lambda_1 \leq 1$  及び  $0 \leq \lambda_2 < 2$  の条件を満たすように設定され、また、「P」の初期値P(0)は、その各対角成分を正の数とする対角行列である。

【0198】この場合、式(9)中の「 $\lambda_1$ 」、「 $\lambda_2$ 」の設定の仕方によって、固定ゲイン法、漸減ゲイン法、重み付き最小二乗法、最小二乗法、固定トレース法等、各種の具体的なアルゴリズムが構成され、本実施形態では、例えば最小二乗法(この場合、 $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ )を採用している。

【0199】本実施形態における同定器25は基本的には前述のようなアルゴリズム(演算処理)によって、前記同定誤差id/eを最小化するように離散系モデルの前記同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットを制御サイクル毎に逐次求めるもので、このような処理によって、実際の対象排気系Eに適合した同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットが逐次得られる。

【0200】尚、本実施形態における同定器25は、前記同定誤差id/eの算出に際して、O<sub>2</sub> センサ6の前記同定偏差出力V02 ハットとO<sub>2</sub> センサ6の偏差出力V02 と

にフィルタリング処理を施したり、ゲイン係数 $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ の同定（同定ゲイン係数 $a_1$ ハット,  $a_2$ ハット,  $b_1$ ハットの更新）を対象排気系Eの特定の挙動状態において行ったりするのであるが、これについては後述する。

【0201】次に、前記推定器26は、後に詳細を説明するスライディングモード制御器27による目標空燃比KCMDの決定処理に際しての対象排気系Eの無駄時間 $d$ の影響を補償するために、該無駄時間 $d$ 後の $O_2$  センサ6

$$X(k) = \begin{bmatrix} V02(k) \\ V02(k-1) \end{bmatrix}$$

【0204】式(1)は次式(11)に書き換えられる。

$$X(k+1) = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} X(k) + \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot kact(k-d) \quad (11)$$

$$= A \cdot X(k) + B \cdot kact(k-d)$$

$$\left( \text{但し } A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

【0206】ここで、式(11)の漸化式を繰り返し利用すると、無駄時間 $d$ 後の $X(k+d)$ は、式(11)中で定義した行列 $A$ 及びベクトル $B$ やLAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の時系列データ $kact(k-j)$  ( $j=1, 2, \dots, d$ )を用

$$X(k+d) = \begin{bmatrix} V02(k+d) \\ V02(k+d-1) \end{bmatrix} = A^d \cdot X(k) + \sum_{j=1}^d A^{d-j} \cdot B \cdot kact(k-j) \quad (12)$$

【0208】この場合、式(12)の左辺の第1行成分が無駄時間 $d$ 後の $O_2$  センサ6の偏差出力 $V02(k+d)$ であるから、その推定値（推定偏差出力） $V02(k+d)$ バーは、式(12)の右辺の第1行成分を演算することで求めることができる。

【0209】そこで、式(12)の両辺の第1行成分に着目し、右辺第1項の行列 $A^d$ の第1行第1列成分及び第1行第2列成分をそれぞれ $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ とおき、右辺第2項のベクトル $A^{j-1} \cdot B$  ( $j=1, 2, \dots, d$ )の第1行成

$$\overline{V02(k+d)} = \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) + \sum_{j=1}^d \beta_j \cdot kact(k-j) \quad (13)$$

【0211】また、式(13)中の係数値 $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ 及び $\beta_j$  ( $j=1, 2, \dots, d$ )は、行列 $A$ 及びベクトル $B$ の成分（式(11)参照）を構成するゲイン係数 $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ として、前記同定器25により求められた同定ゲイン係数 $a_1$ ハット,  $a_2$ ハット,  $b_1$ ハットを用い、それらの行列 $A$ 及びベクトル $B$ から前記式(12)中の行列 $A^d$ 及びベクトル $A^{j-1} \cdot B$  ( $j=1, 2, \dots, d$ )を求めることで決定することができる。

【0212】よって、本実施形態における推定器26は、基本的には同定器25により求められる前記同定ゲイン係数 $a_1$ ハット,  $a_2$ ハット,  $b_2$ ハット（詳しくは現在

の偏差出力 $V02$ の推定値である前記推定偏差出力 $V02$ バーを制御サイクル毎に逐次求めるものであり、その推定処理は次のように行われる。

【0202】まず、前記式(1)で表される離散系モデルにおいて、次式(10)により定義されるベクトル $X$ を導入すると、

【0203】

【数10】

(10)

【0205】

【数11】

いて、次式(12)により表される。

【0207】

【数12】

分をそれぞれ $\beta_j$  ( $j=1, 2, \dots, d$ )とおくと、 $O_2$  センサ6の推定偏差出力 $V02(k+d)$ バーは、 $O_2$  センサ6の偏差出力 $V02$ の時系列データ $V02(k)$ 及び $V02(k-1)$ と、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の時系列データ $kact(k-j)$

( $j=1, 2, \dots, d$ )とを用いて次式(13)により求めることができる。

【0210】

【数13】

の制御サイクルで求められた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット,  $a_2(k)$ ハット,  $b_2(k)$ ハットを用いて、式(13)中の係数値 $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ 及び $\beta_j$  ( $j=1, 2, \dots, d$ )を算出する。さらに、その算出した係数値 $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ 及び $\beta_j$ と、 $O_2$  センサ6の偏差出力 $V02$ の現在以前の時系列データ $V02(k)$ 及び $V02(k-1)$ と、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の過去の時系列データ $kact(k-j)$  ( $j=1, 2, \dots, d$ )とから式(13)の演算を行うことで、 $O_2$  センサ6の推定偏差出力 $V02(k+d)$ バーを求める。これが推定器26における基本的な演算処理（推定アルゴリズム）である。

【0213】尚、本実施形態における推定器26は、O<sub>2</sub> センサ6の推定偏差出力V02(k+d)バーの算出に際して、LAFセンサ5の偏差出力kactにフィルタリング処理を施すのであるがこれについては後述する。

【0214】次に、前記スライディングモード制御器27を詳細に説明する。

【0215】ここで、まず、一般的なスライディングモード制御について図4を参照して簡単に説明しておく。

【0216】スライディングモード制御は、可変構造型のフィードバック制御手法であり、この制御手法においては、例えば制御対象の制御すべき状態量を $x_1$ 、 $x_2$ の二つとした場合、これらの状態量 $x_1$ 、 $x_2$ を変数とする線形関数 $\sigma = s_1 x_1 + s_2 x_2$  ( $s_1$ 、 $s_2$ は係数)を用いて、 $\sigma = 0$ により表される超平面をあらかじめ設計しておく。この超平面 $\sigma = 0$ は位相空間が二次系の場合(状態量が二つの場合)は、しばしば切換線と呼ばれ、線形関数 $\sigma$ は切換関数と呼ばれている。位相空間の次数がさらに大きくなると、切換線から切換面となり、さらには幾何学的に図示できなくなる超平面になる。尚、超平面はすべり面と呼ばれることもある。本明細書の特許請求の範囲においては、これらを代表して線形関数及び超平面と表現した。

【0217】そして、このスライディングモード制御は、例えば図4の点Pで示すように、状態量 $x_1$ 、 $x_2$ が $\sigma \neq 0$ となっている場合に、所謂、到達則に従って、状態量 $x_1$ 、 $x_2$ をハイゲイン制御によって超平面 $\sigma = 0$ 上に高速で収束させ(モード1)、さらに所謂、等価制御入力によって状態量 $x_1$ 、 $x_2$ を超平面 $\sigma = 0$ 上に拘束しつつ超平面 $\sigma = 0$ 上の平衡点( $x_1 = x_2 = 0$ の点)に収束させる(モード2)ものである。

【0218】このようなスライディングモード制御においては、状態量 $x_1$ 、 $x_2$ を超平面 $\sigma = 0$ 上に収束させさえすれば、等価制御入力によって、外乱等の影響を受けることなく、極めて安定に状態量 $x_1$ 、 $x_2$ を超平面 $\sigma = 0$ 上に拘束して、該超平面 $\sigma = 0$ の平衡点に収束させることができるという特性をもっている。尚、外乱や制御対象のモデル化誤差があると、状態量 $x_1$ 、 $x_2$ は厳密には上記平衡点( $x_1 = x_2 = 0$ の点)には収束せず、該平衡点の近傍に収束する。

【0219】かかるスライディングモード制御では、特に、上記モード1において状態量 $x_1$ 、 $x_2$ をいかにして安定に超平面 $\sigma = 0$ 上に収束させるかが重要な課題と

$$\sigma(k) = s_1 \cdot V02(k) + s_2 \cdot V02(k-1)$$

$$= S \cdot X$$

$$\left( \text{但し } S = [s_1 \ s_2], \ X = \begin{bmatrix} V02(k) \\ V02(k-1) \end{bmatrix} \right)$$

(14)

【0225】尚、本実施形態では、線形関数の変数である状態量として、実際には前記推定器26により求められる前記推定偏差出力V02バーの時系列データを用いる

なる。この場合、外乱等の影響があると、一般には、前記到達則だけでは、状態量 $x_1$ 、 $x_2$ を超平面 $\sigma = 0$ 上に安定に収束させることが困難である。このため、近年では、例えばコロナ社により1994年10月20日に発刊された「スライディングモード制御—非線形ロバスト制御の設計理論—」と題する文献の第134頁～第135頁に見られるように、到達則に加えて、外乱の影響を排除しつつ状態量を超平面上に収束させるための適応則を用いた適応スライディングモード制御という手法が提案されている。

【0220】本実施形態の前記スライディングモード制御器27は、このような適応スライディングモード制御を用いて、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUTをその目標値V02/TARGETに整定させるように(O<sub>2</sub> センサ6の偏差出力V02を「0」に収束させるように)、制御対象である前記対象排気系Eに与えるべき入力(詳しくは、LAFセンサ5で検出される排ガスの空燃比と前記基準値FLAF/BASEとの偏差で、これはLAFセンサ5の偏差出力kactに相当する。以下、この入力をSLD操作入力 $u_{sl}$ と称する)を決定し、その決定したSLD操作入力 $u_{sl}$ から前記目標空燃比KCMDを決定するものである。そして、その処理のためのアルゴリズムは次のように構築されている。

【0221】まず、スライディングモード制御器27の適応スライディングモード制御に必要な超平面の構築について説明する。

【0222】スライディングモード制御器27は、O<sub>2</sub> センサ6の偏差出力V02を「0」に収束させるように制御を行うものであるので、O<sub>2</sub> センサ6の偏差出力V02の時系列データを「0」に収束させるように対象排気系Eに与えるべき前記SLD操作入力 $u_{sl}$ を決定すればよい。

【0223】そこで、本実施形態におけるスライディングモード制御の基本的な考え方としては、制御すべき状態量として、例えば各制御サイクルで得られたO<sub>2</sub> センサ6の偏差出力V02(k)と、その1制御サイクル前に得られた偏差出力V02(k-1)とを用い、スライディングモード制御用の超平面を規定する線形関数 $\sigma$ を次式(14)により設定する。

【0224】

【数14】

のであるがこれについては後述する。

【0226】上記のように線形関数 $\sigma$ を定義したとき、スライディングモード制御用の超平面は $\sigma = 0$ により表

され（この場合、状態量は二つであるので超平面は直線となる。図 4 参照）、この超平面  $\sigma = 0$  を規定する線形関数  $\sigma$  の係数  $s_1, s_2$ （式（14）参照）は、本実施形態ではあらかじめ次のように設定する。

【0227】すなわち、前記状態量  $V02(k), V02(k-1)$  を成分とする式（14）中のベクトル  $X$ （以下、単に状態量  $X$  という）が超平面  $\sigma = 0$  上に収束した状態では、線形関数  $\sigma$  の値が「0」であるので、これと式（14）とから次式（15）が得られる。

【0228】

【数15】

(15)

【0229】ここで、式（15）により表される系は、入力のない一次遅れ系であるので、状態量  $X$  が超平面  $\sigma = 0$  の平衡点（ $V02(k) = V02(k-1) = 0$  となる点）に安定に収束するための条件は、式（15）により表される系の極（この場合、この極は「 $-s_2/s_1$ 」である）が単位円内に存在することとなる。

$$-1 < \frac{s_2}{s_1} < 1$$

(s<sub>1</sub>=1 のとき  $-1 < s_2 < 1$ )

【0232】尚、本実施形態では、簡略化のために係数  $s_1 = 1$  とし（この場合、 $s_2/s_1 = s_2$  である）、 $-1 < s_2 < 1$  の条件を満たすように係数  $s_2$  の値を設定する。

【0233】一方、上記のように設定された超平面  $\sigma = 0$  の平衡点に前記状態量  $X$  を収束させるためにスライディングモード制御器 27 が適応スライディングモード制御により生成すべき前記 SLD 操作入力  $u_{sl}$ （LAF センサ 5 で検出される排ガスの空燃比と前記基準値 FLAF/BASE との偏差）は、前記状態量  $X$  を超平面  $\sigma = 0$  上に拘束するための制御則に従って対象排気系 E に与えるべき

$$u_{sl} = u_{eq} + u_{rch} + u_{adp}$$

(17)

【0235】そして、これらの等価制御入力  $u_{eq}$ 、到達則入力  $u_{rch}$  及び適応則入力  $u_{adp}$  は、本実施形態では、前記式（1）あるいは式（11）により表される離散系モデルに基づいて、次のように求めることができる。

【0236】まず、等価制御入力  $u_{eq}$  に関し、前記状態

$$\sigma(k+1) = S \cdot A \cdot X(k) + S \cdot B \cdot kact(k-d) = S \cdot X(k) = \sigma(k)$$

$$\therefore S \cdot (A - I) \cdot X(k) + S \cdot B \cdot kact(k-d) = 0 \quad (18)$$

【0238】ここで、等価制御入力  $u_{eq}$  は、状態量  $X$  を超平面  $\sigma = 0$  に拘束するために対象排気系 E に与えるべき入力（LAF センサ 5 で検出される排ガスの空燃比と前記基準値 FLAF/BASE との偏差）であるので、上記式（18）の条件を満たす LAF センサ 5 の偏差出力  $kact$

$$u_{eq}(k-d) = kact(k-d)$$

$$= -(S \cdot B)^{-1} \cdot \{S \cdot (A - I)\} \cdot X(k)$$

(19)

【0241】さらに、この式（19）の両辺を無駄時間  $d$  分シフトすることで、次式（20）が得られる。

【0230】従って、本実施形態では、線形関数  $\sigma$  の係数  $s_1, s_2$  は、次式（16）の条件を満たすように設定する。

【0231】

【数16】

(16)

等価制御入力  $u_{eq}$  と、状態量  $X$  を超平面  $\sigma = 0$  に収束させるための到達則に従って対象排気系 E に与えるべき入力  $u_{rch}$ （以下、到達則入力  $u_{rch}$  という）と、外乱等の影響を補償して状態量  $X$  を超平面  $\sigma = 0$  に収束させるための適応則に従って対象排気系 E に与えるべき入力  $u_{adp}$ （以下、適応則入力  $u_{adp}$  という）との総和により表される（次式（17）参照）。

【0234】

【数17】

量  $X$  が超平面  $\sigma = 0$  上に留まる条件は、 $\sigma(k+1) = \sigma(k) = 0$  であり、この条件は、前記式（11）及び式（14）を用いて、次式（18）に書き換えられる。

【0237】

【数18】

が等価制御入力  $u_{eq}$  である。

【0239】従って、式（18）から次式（19）が得られ、

【0240】

【数19】

【0242】

【数20】

$$\begin{aligned}
 U_{eq}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot \{S \cdot (A - I)\} \cdot X(k+d) \\
 &= \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot \{ [s_1 \cdot (a_1 - 1) + s_2] \cdot V02(k+d) \\
 &\quad + (s_1 \cdot a_2 - s_2) \cdot V02(k+d-1) \} \quad (20)
 \end{aligned}$$

【0243】この式(20)が本実施形態において、制御サイクル毎に等価制御入力  $u_{eq}$  を求めるための基本式である。

【0244】次に、前記到達則入力  $u_{rch}$  は、本実施形態では、基本的には次式(21)により決定するものとする。

【0245】

【数21】

$$\begin{aligned}
 U_{rch}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot F \cdot \sigma(k+d) \\
 &= \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot F \cdot \sigma(k+d) \quad (21)
 \end{aligned}$$

$$\sigma(k+1) = (1 - F) \cdot \sigma(k)$$

【0250】ここで、式(22)により表される系は、入力の無い一次遅れ系であるので、線形関数  $\sigma$  の値が超平面  $\sigma = 0$  に安定に収束する(状態量  $X$  が超平面  $\sigma = 0$  に安定に収束する)ための条件は、式(22)により表される系の極(この場合、この極は「 $1 - F$ 」である)が単位円内に存在することとなる。

$$0 < F < 2$$

【0253】尚、線形関数  $\sigma$  の値の挙動に関しては、該線形関数  $\sigma$  の値が超平面  $\sigma = 0$  に対して振動的な変化(所謂チャタリング)を生じる虞れがあり、このチャタリングを抑制するためには、式(22)により表される系の極「 $1 - F$ 」が上記の条件に加えて  $0 < 1 - F < 1$  なる条件を満たすことが好ましい。

$$0 < F < 1$$

【0256】次に、前記適応則入力  $u_{adp}$  は、本実施形態では、基本的には次式(25)により決定するものとする(式(25)中の  $\Delta T$  は制御サイクルの周期であ

$$\begin{aligned}
 U_{adp}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\sigma(i) \cdot \Delta T) \\
 &= \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\sigma(i) \cdot \Delta T) \quad (25)
 \end{aligned}$$

【0258】すなわち、適応則入力  $u_{adp}$  は、無駄時間  $d$  の影響を考慮し、無駄時間  $d$  後までの線形関数  $\sigma$  の値の制御サイクル毎の積算値(これは線形関数  $\sigma$  の値の積分値に相当する)に比例させるように決定する。

【0259】この場合、式(25)中の係数  $G$  (これは適応則のゲインを規定する)は、次のように設定される。

【0260】まず、LAFセンサ5で検出される空燃比

【0246】すなわち、到達則入力  $u_{rch}$  は、無駄時間  $d$  の影響を考慮し、無駄時間  $d$  後の線形関数  $\sigma$  の値  $\sigma(k+d)$  に比例させるように決定する。

【0247】この場合、式(21)中の係数  $F$  (これは到達則のゲインを規定する)は、次のように設定される。

【0248】すなわち、前記式(11)において、 $kact(k) = u_{eq}(k) + u_{rch}(k)$  とし、さらに式(14)、(20)、(21)を用いると、次式(22)が得られる。

【0249】

【数22】

$$(22)$$

【0251】従って、本実施形態では、到達則入力  $u_{rch}$  を規定する係数  $F$  は、次式(23)の条件を満たすように設定する。

【0252】

【数23】

$$(23)$$

【0254】従って、到達則入力  $u_{rch}$  を規定する係数  $F$  は、より好ましくは、次式(24)の条件を満たすように設定する。

【0255】

【数24】

$$(24)$$

る)。

【0257】

【数25】

と目標空燃比  $KCMD$  との間の外乱等の影響による誤差成分を  $v$  とすると、LAFセンサ5の偏差出力  $kact$  は、前記等価制御入力  $u_{eq}$ 、到達則入力  $u_{rch}$  及び適応則入力  $u_{adp}$ 、並びに上記誤差成分  $v$  を用いて、次式(26)により表現することができる。

【0261】

【数26】

$$kact(k) = U_{eq}(k) + U_{rch}(k) + U_{adp}(k) + v(k) \quad (26)$$

【0262】そして、この式(26)を前記式(11)に適用し、さらに式(14)、(20)、(21)、(25)を用いると、次式(27)が得られる。

【0263】  
【数27】

$$\sigma(k+1) = (1-F) \cdot \sigma(k) - G \cdot \sum_{i=0}^k (\sigma(i) \cdot \Delta T) + S \cdot B \cdot v(k) \quad (27)$$

【0264】ここで、式(27)の両辺をZ変換すると次式(28)となり、

【0265】  
【数28】

$$Z \cdot \Sigma = (1-F) \Sigma - G \frac{\Delta T \cdot Z}{Z-1} \cdot \Sigma + S \cdot B \cdot V \quad (28)$$

【0266】さらにこの式(28)を変形して整理すると、次式(29)が得られる。

【0267】  
【数29】

$$\begin{aligned} \Sigma &= \frac{S \cdot B \cdot (Z-1)}{Z^2 + (F-2+G \cdot \Delta T) \cdot Z + 1 - F} \cdot V \\ &= M(Z) \cdot V \end{aligned} \quad (29)$$

【0268】尚、式(28)、(29)における「 $\Sigma$ 」及び「 $V$ 」はそれぞれ線形関数 $\sigma$ 及び前記誤差成分 $v$ をZ変換したものである。また、式(29)の $M(Z)$ は誤差成分 $v$ に対する線形関数 $\sigma$ のパルス伝達関数で、式(29)の上段の分数式により表されるものである。

【0269】この場合、線形関数 $\sigma$ が誤差成分 $v$ (外乱)に対して、安定となる条件は、前記パルス伝達関数 $M(Z)$ の極、すなわち、次式(30)により示される特性方程式の解(この解は二つある)が単位円内に存在することであり、

【0270】

$$Z^2 + (F-2+G \cdot \Delta T) \cdot Z + 1 - F = 0 \quad (30)$$

【0271】上記特性方程式(30)の二つの解はそれぞれ $\lambda_{m1}$ 、 $\lambda_{m2}$ とすると、次式(31)、(32)により与えられる。

【0272】  
【数31】

$$\lambda_{m1} = \frac{-(F-2+G \cdot \Delta T) + \sqrt{(F-2+G \cdot \Delta T)^2 - 4 \cdot (1-F)}}{2} \quad (31)$$

【0273】

【数32】

$$\lambda_{m2} = \frac{-(F-2+G \cdot \Delta T) - \sqrt{(F-2+G \cdot \Delta T)^2 - 4 \cdot (1-F)}}{2} \quad (32)$$

【0274】従って、線形関数 $\sigma$ が誤差成分 $v$ (外乱)に対して安定となる条件は、上式(31)、(32)により与えられる $\lambda_{m1}$ 、 $\lambda_{m2}$ が単位円内に存在することである。

【0275】そこで、本実施形態ではこの条件を満たすために、前記係数 $G$ は、次式(33)により設定する。

【0276】

【数33】

$$G = J \cdot \frac{2-F}{\Delta T} \quad (33)$$

(但し、 $0 < J < 2$ )

制御器27は、基本的には前記式(20)、(21)、(25)により決定される等価制御入力 $u_{eq}$ 、到達則入力 $u_{rch}$ 及び適応則入力 $u_{adp}$ の総和( $u_{eq} + u_{rch} + u_{adp}$ )を対象排気系Eに与えるべきSLD操作入力 $u_{sl}$ として決定するのであるが、前記式(20)、(21)、(25)で使用するO<sub>2</sub>センサ6の偏差出力 $V02(k+d)$ 、 $V02(k+d-1)$ や、線形関数 $\sigma$ の値 $\sigma(k+d)$ 等は未来値であるので実際には得られないものである。

【0278】そこで、本実施形態では、スライディングモード制御器27は、実際には、前記式(20)により前記等価制御入力 $u_{eq}$ を決定するためのO<sub>2</sub>センサ6の偏差出力 $V02(k+d)$ 、 $V02(k+d-1)$ の代わりに、前記推定器26で求められる推定偏差出力 $V02(k+d)$ パー、 $V02(k+d-1)$ パーを用い、次式(34)により制御サイクル毎の等

【0277】本実施形態におけるスライディングモード

価制御入力  $u_{eq}$  を算出する。

【数 3 4】

【0 2 7 9】

$$u_{eq}(k) = \frac{-1}{s_1 b_1} \{ [s_1 \cdot (a_1 - 1) + s_2] \cdot \overline{V02}(k+d) + (s_1 \cdot a_2 - s_2) \cdot \overline{V02}(k+d-1) \} \quad (34)$$

【0 2 8 0】また、本実施形態では、実際には、推定器 2 6 により前述の如く逐次求められた推定偏差出力  $V02$  バーの時系列データを制御すべき状態量とし、前記式 (1 4) により設定された線形関数  $\sigma$  に代えて、次式 (3 5) により線形関数  $\sigma$  バーを定義する (この線形関数  $\sigma(k) = s_1 \cdot \overline{V02}(k) + s_2 \cdot \overline{V02}(k-1)$ )

数  $\sigma$  バーは、前記式 (1 4) の偏差出力  $V02$  の時系列データを推定偏差出力  $V02$  バーの時系列データで置き換えたものに相当する)。

【0 2 8 1】

【数 3 5】  
(35)

【0 2 8 2】そして、スライディングモード制御器 2 7 は、前記式 (2 1) により前記到達則入力  $u_{rch}$  を決定するための線形関数  $\sigma$  の値の代わりに、前記式 (3 5) により表される線形関数  $\sigma$  バーの値を用いて次式 (3 6) により制御サイクル毎の到達則入力  $u_{rch}$  を算出する。

【0 2 8 3】

【数 3 6】

$$u_{rch}(k) = \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot F \cdot \overline{\sigma}(k+d) \quad (36)$$

【0 2 8 4】同様に、スライディングモード制御器 2 7 は、前記式 (2 5) により前記適応則入力  $u_{adp}$  を決定するための線形関数  $\sigma$  の値の代わりに、前記式 (3 5) により表される線形関数  $\sigma$  バーの値を用いて次式 (3 7) により制御サイクル毎の適応則入力  $u_{adp}$  を算出する。

【0 2 8 5】

【数 3 7】

$$u_{adp}(k) = \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\overline{\sigma}(i) \cdot \Delta T) \quad (37)$$

【0 2 8 6】尚、前記式 (3 4)、(3 6)、(3 7) により等価制御入力  $u_{eq}$ 、到達則入力  $u_{rch}$  及び適応則入力  $u_{adp}$  を算出する際に必要となる前記ゲイン係数  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  としては、本実施形態では基本的には前記同定器 2 5 により求められた最新の同定ゲイン係数  $a_1(k)$  ハット,  $a_2(k)$  ハット,  $b_1(k)$  ハットを用いる。

【0 2 8 7】そして、スライディングモード制御器 2 7 は、前記式 (3 4)、(3 6)、(3 7) によりそれぞれ  $KCMD(k) = U_{sl}(k) + FLAF / BASE$

$$= u_{eq}(k) + u_{rch}(k) + u_{adp}(k) + FLAF / BASE \quad (38)$$

【0 2 9 1】以上が本実施形態でスライディングモード制御器 2 7 により目標空燃比  $KCMD$  を決定するための基本的アルゴリズムである。

【0 2 9 2】尚、本実施形態では、スライディングモード制御器 2 7 による適応スライディングモード制御の処理の安定性を判別して、前記  $SLD$  操作入力  $u_{sl}$  の値を

求められる等価制御入力  $u_{eq}$ 、到達則入力  $u_{rch}$  及び適応則入力  $u_{adp}$  の総和を対象排気系  $E$  に与えるべき前記  $SLD$  操作入力  $u_{sl}$  として求める (前記式 (1 7) を参照)。尚、この場合において、前記式 (3 4)、(3 6)、(3 7) 中で用いる前記係数  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $F$ ,  $G$  の設定条件は前述の通りである。

【0 2 8 8】これが、本実施形態において、スライディングモード制御器 2 7 により、対象排気系  $E$  に与えるべき  $SLD$  操作入力  $u_{sl}$  を制御サイクル毎に決定するための基本的なアルゴリズムである。このようにして  $SLD$  操作入力  $u_{sl}$  を決定することで、該  $SLD$  操作入力  $u_{sl}$  は、 $O_2$  センサ 6 の推定偏差出力  $V02$  バーを「0」に収束させるように (結果的には  $O_2$  センサ 6 の出力  $V02$  バーを目標値  $V02/TARGET$  に収束させるように) 決定される。

【0 2 8 9】ところで、本実施形態におけるスライディングモード制御器 2 7 は最終的には前記目標空燃比  $KCMD$  を制御サイクル毎に逐次求めるものがあるが、前述のように求められる  $SLD$  操作入力  $u_{sl}$  は、 $LAF$  センサ 5 で検出される排ガスの空燃比と前記基準値  $FLAF/BASE$  との偏差の目標値を意味する。このため、スライディングモード制御器 2 7 は、最終的には、次式 (3 8) に示すように、制御サイクル毎に、前述の如く求めた  $SLD$  操作入力  $u_{sl}$  に前記基準値  $FLAF/BASE$  を加算することで、目標空燃比  $KCMD$  を決定する。

【0 2 9 0】

【数 3 8】

制限したりするのであるが、これについては後述する。

【0 2 9 3】次に、前記大局的フィードバック制御部 1 5、特に前記適応制御器 1 8 をさらに説明する。

【0 2 9 4】前記図 1 を参照して、大局的フィードバック制御部 1 5 は、前述のように  $LAF$  センサ 5 の出力  $KACT$  (検出空燃比) を目標空燃比  $KCMD$  に収束させるように



フィードバック制御を行うものであるが、このとき、このようなフィードバック制御を周知のPID制御だけで行うようにすると、エンジン1の運転状態の変化や経年の特性変化等、動的な挙動変化に対して、安定した制御性を確保することが困難である。

【0295】前記適応制御器18は、上記のようなエンジン1の動的な挙動変化を補償したフィードバック制御を可能とするもので、I、D、ランダウ等により提唱されているパラメータ調整則を用いて、図5に示すように、複数の適応パラメータを設定するパラメータ調整部28と、設定された適応パラメータを用いて前記フィードバック操作量KSTRを算出する操作量算出部29とにより構成されている。

【0296】ここで、パラメータ調整部28について説明すると、ランダウ等の調整則では、離散系の制御対象の伝達関数 $B(Z^{-1})/A(Z^{-1})$ の分母分子の多項式を一般的に下記の式(39)、(40)のようにおいたとき、パラメータ調整部28が設定する適応パラメータ $\theta$ ハット(j) (jは制御サイクルの番数を示す)は、式

$$A(Z^{-1}) = 1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_n Z^{-n} \quad (39)$$

【0298】 【数40】

$$B(Z^{-1}) = b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_m Z^{-m} \quad (40)$$

【0299】 【数41】

$$\begin{aligned} \hat{\theta}^T(j) &= [\hat{b}_0(j), \hat{B}_R(Z^{-1}, j), \hat{S}(Z^{-1}, j)] \\ &= [b_0(j), r_1(j), \dots, r_{m+dp-1}(j), s_0(j), \dots, s_{n-1}(j)] \\ &= [b_0(j), r_1(j), r_2(j), r_3(j), s_0(j)] \end{aligned} \quad (41)$$

【0300】 【数42】

$$\begin{aligned} \zeta^T(j) &= [us(j), \dots, us(j-m-dp+1), ys(j), \dots, ys(j-n+1)] \\ &= [us(j), us(j-1), us(j-2), us(j-3), ys(j)] \\ &= [KSTR(j), KSTR(j-1), KSTR(j-2), KSTR(j-3), KACT(j)] \end{aligned} \quad (42)$$

【0301】ここで、前記式(41)に示される適応パラメータ $\theta$ ハットは、適応制御器18のゲインを決定するスカラー要素 $b_0$ ハット $(Z^{-1}, j)$ 、操作量を用いて表現される制御要素 $B_R$ ハット $(Z^{-1}, j)$ 、及び制御量を用いて表現される制御要素 $S$ ハット $(Z^{-1}, j)$ から

$$\hat{b}_0^{-1}(j) = \frac{1}{b_0} \quad (43)$$

【0303】 【数44】

$$\begin{aligned} \hat{B}_R(Z^{-1}, j) &= r_1 Z^{-1} + r_2 Z^{-2} + \dots + r_{m+dp-1} Z^{-(m+dp-1)} \\ &= r_1 Z^{-1} + r_2 Z^{-2} + r_3 Z^{-3} \end{aligned} \quad (44)$$

【0304】 【数45】

(41)のようにベクトル(転置ベクトル)で表される。また、パラメータ調整部28への入力 $u(j)$ は、式(42)のように表される。この場合、本実施形態では、大局的フィードバック制御部15の制御対象であるエンジン1が一次系で3制御サイクル分の無駄時間 $dp$ (エンジン1の燃焼サイクルの3サイクル分の時間)を持つプラントと考え、式(39)～式(42)で $m=n=1$ ,  $dp=3$ とし、設定する適応パラメータは $s_0, r_1, r_2, r_3, b_0$ の5個とした(図5参照)。尚、式(42)の上段式及び中段式における $us, ys$ は、それぞれ、制御対象への入力(操作量)及び制御対象の出力(制御量)を一般的に表したものであるが、本実施形態では、上記入力をフィードバック操作量KSTR、制御対象(エンジン1)の出力を前記LAFセンサ5の出力KACT(検出空燃比)とし、パラメータ調整部28への入力 $u(j)$ を、式(42)の下段式により表す(図5参照)。

【0297】

【数39】

なり、それぞれ、次式(43)～(45)により表現される(図5の操作量算出部29のブロック図を参照)。

【0302】

【数43】

$$\hat{S}(Z^{-1}, j) = s_0 + s_1 Z^{-1} + \dots + s_{n-1} Z^{-(n-1)} \quad (45)$$

$$= s_0$$

【0305】パラメータ調整部28は、これらのスカラー要素や制御要素の各係数を設定して、それを式(26)に示す適応パラメータ $\theta$ ハットとして操作量算出部29に与えるもので、現在から過去に渡るフィードバック操作量KSTRの時系列データとLAFセンサ5の出力KACTとを用いて、該出力KACTが前記目標空燃比KCMDに一致

$$\hat{\theta}(j) = \hat{\theta}(j-1) + \Gamma(j-1) \cdot \xi(j-dp) \cdot e^*(j) \quad (46)$$

【0308】同式(46)において、 $\Gamma(j)$ は、適応パラメータ $\theta$ ハットの設定速度を決定するゲイン行列(この行列の次数は $m+n+dp$ )、 $e$ アスタリスク(j)は、適応パラメータ $\theta$ ハットの推定誤差を示すもので、

$$\Gamma(j) = \frac{1}{\lambda_1(j)} \left[ \Gamma(j-1) - \frac{\lambda_2(j) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \xi(j-dp) \cdot \xi^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1)}{\lambda_1(j) + \lambda_2(j) \cdot \xi^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \xi(j-dp)} \right] \quad (47)$$

$$\text{但し、} 0 < \lambda_1(j) \leq 1 \quad 0 \leq \lambda_2(j) < 2 \quad \Gamma(0) > 0$$

【0310】

$$e^*(j) = \frac{D(Z^{-1}) \cdot KACT(j) - \hat{\theta}^T(j-1) \cdot \xi(j-dp)}{1 + \xi^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \xi(j-dp)} \quad (48)$$

【0311】ここで、式(48)中の「 $D(Z^{-1})$ 」は、収束性を調整するための、漸近安定な多項式であり、本実施形態では $D(Z^{-1}) = 1$ としている。

【0312】尚、式(47)の $\lambda_1(j)$ 、 $\lambda_2(j)$ の選び方により、漸減ゲインアルゴリズム、可変ゲインアルゴリズム、固定トレースアルゴリズム、固定ゲインアルゴリズム等の種々の具体的なアルゴリズムが得られる。エンジン1の燃料噴射あるいは空燃比等の時変プラントでは、漸減ゲインアルゴリズム、可変ゲインアルゴリズム、固定ゲインアルゴリズム、および固定トレースアル

$$KSTR(j) = \frac{KCMD(j) - s_0 \cdot KACT(j) - r_1 \cdot KSTR(j-1) - r_2 \cdot KSTR(j-2) - r_3 \cdot KSTR(j-3)}{b_0} \quad (49)$$

【0315】尚、式(49)により求められるフィードバック操作量KSTRは、LAFセンサ5の出力KACTが目標空燃比KCMDに一致する状態において、「目標空燃比KCMD」となる。このために、前述の如く、フィードバック操作量KSTRを除算処理部19によって目標空燃比KCMDで除算することで、前記フィードバック補正係数KFBとして使用できるフィードバック操作量kstrを求めるようにしている。

【0316】このように構築された適応制御器18は、前述したことから明かなように、制御対象であるエンジン1の動的な挙動変化を考慮した漸化式形式の制御器であり、換言すれば、エンジン1の動的な挙動変化を補償するために、漸化式形式で記述された制御器である。

するように、適応パラメータ $\theta$ ハットを算出する。

【0306】この場合、具体的には、適応パラメータ $\theta$ ハットは、次式(46)により算出する。

【0307】

【数46】

それぞれ式(47)、(48)のような漸化式で表される。

【0309】

【数47】

ゴリズムのいずれもが適している。

【0313】前述のようにパラメータ調整部28により設定される適応パラメータ $\theta$ ハット( $s_0$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $b_0$ )と、前記空燃比操作量決定部13により決定される目標空燃比KCMDとを用いて、操作量算出部29は、次式(49)の漸化式により、フィードバック操作量KSTRを求める。図5の操作量算出部29は、同式(49)の演算をブロック図で表したものである。

【0314】

【数49】

そして、より詳しくは、漸化式形式の適応パラメータ調整機構を備えた制御器と定義することができる。

【0317】尚、この種の漸化式形式の制御器は、所謂、最適レギュレータを用いて構築する場合もあるが、この場合には、一般にはパラメータ調整機構は備えられておらず、エンジン1の動的な挙動変化を補償する上では、前述のように構成された適応制御器18が好適である。

【0318】以上が、本実施形態で採用した適応制御器18の詳細である。

【0319】尚、適応制御器18と共に、大域的フィードバック制御部15に具備したPID制御器17は、一般のPID制御と同様に、LAFセンサ5の出力KACT

(検出空燃比)と、その目標空燃比KCMDとの偏差から、比例項(P項)、積分項(I項)及び微分項(D項)を算出し、それらの各項の総和をフィードバック操作量KLAFとして算出する。この場合、本実施形態では、積分項(I項)の初期値を“1”とすることで、LAFセンサ5の出力KACTが目標空燃比KCMDに一致する状態において、フィードバック操作量KLAFが“1”になるようにし、該フィードバック操作量KLAFをそのまま燃料噴射量を補正するための前記フィードバック補正係数KFBとして使用することができるようにしている。また、比例項、積分項及び微分項のゲインは、エンジン1の回転数と吸気圧とから、あらかじめ定められたマップを用いて決定される。

【0320】また、大局的フィードバック制御部15の前記切換部20は、エンジン1の冷却水温の低温時や、高速回転運転時、吸気圧の低圧時等、エンジン1の燃焼が不安定なものとなりやすい場合、あるいは、目標空燃比KCMDの変化が大きい時や、空燃比のフィードバック制御の開始直後等、これに応じたLAFセンサ6の出力KACTが、そのLAFセンサ5の応答遅れ等によって、信頼性に欠ける場合、あるいは、エンジン1のアイドル運転時のようエンジン1の運転状態が極めて安定していて、適応制御器18による高ゲイン制御を必要としない場合には、PID制御器17により求められるフィードバック操作量KLAFを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正量数KFBとして出力する。そして、上記のような場合以外の状態で、適応制御器18により求められるフィードバック操作量KSTRを目標空燃比KCMDで除算してなるフィードバック操作量kstrを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正係数KFBとして出力する。これは、適応制御器18が、高ゲイン制御で、LAFセンサ5の出力KACT(検出空燃比)を急速に目標空燃比KCMDに収束させるように機能するため、上記のようにエンジン1の燃焼が不安定となったり、LAFセンサ5の出力KACTの信頼性に欠ける等の場合に、適応制御器18のフィードバック操作量KSTRを用いると、かえって空燃比の制御が不安定なものとなる虞れがあるからである。

【0321】このような切換部20の作動は、例えば特開平8-105345号公報に本願出願人が詳細に開示しているので、ここでは、さらなる説明を省略する。

【0322】次に本実施形態の装置の作動の詳細を説明する。

【0323】ここで、まず、制御ユニット7が行う処理の制御サイクルについて説明しておく。前記エンジン1の燃料供給量(燃料噴射量)の制御は、該エンジン1の回転数に同期させる必要があり、このため、本実施形態では、前記基本燃料噴射量算出部8、第1補正係数算出部9、第2補正係数算出部10、及びフィードバック制御部14の処理は、エンジン1のクランク角周期(所謂TDC)に同期した制御サイクルで行うようにしてい

る。また、この場合、LAFセンサ5やO<sub>2</sub>センサ6等の各種センサの出力データの読込もクランク角周期(所謂TDC)に同期した制御サイクルで行うようにしている。

【0324】一方、前記空燃比操作量決定部13による触媒装置3の上流側の排ガスの目標空燃比KCMDの決定処理は、触媒装置3に存する無駄時間や演算負荷等を考慮すると一定周期の制御サイクルで行うことが好ましい。このため、本実施形態では、空燃比操作量決定部13における前述したような処理やその処理のために必要な前記偏差出力kact、V02を算出する前記減算処理部11、12の処理は一定周期(例えば30~100ms)の制御サイクルで行うようにしている。

【0325】尚、この一定周期は、制御対象である触媒装置3の種類や反応速度、容積等に応じて決定すればよい。また、本実施形態では、前記空燃比操作量決定部13による処理を行っているような運転状態(より具体的にはエンジン回転数の状態)において、上記一定周期の時間間隔が前記クランク角周期(TDC)の時間間隔よりも大きくなるように設定している。

【0326】以上のことを前提として、まず、図6及び図7のフローチャートを参照して、エンジン1の燃料供給量の制御のためのエンジン1の各気筒毎の出力燃料噴射量 $nT_{out}$ ( $n=1, 2, 3, 4$ )の算出処理について説明する。制御ユニット7は、各気筒毎の出力燃料噴射量 $nT_{out}$ をエンジン1のクランク角周期と同期した制御サイクルで次のような処理を行う。

【0327】まず、図6を参照して、制御ユニット7は前記LAFセンサ5及びO<sub>2</sub>センサ6を含む各種センサの出力を読み込む(STEPA)。この場合、LAFセンサ5の出力KACT及びO<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTはそれぞれ過去に得られたものを含めて時系列的に図示しないメモリに記憶保持される。

【0328】次いで、基本燃料噴射量算出部8によって、前述の如くエンジン1の回転数NE及び吸気圧PBに対応する燃料噴射量をスロットル弁の有効開口面積に応じて補正してなる基本燃料噴射量 $T_{im}$ が求められ(STEPb)、さらに、第1補正係数算出部9によって、エンジン1の冷却水温やキャニスタのパージ量等に応じた第1補正係数KTOTALが算出される(STEPC)。

【0329】次いで、制御ユニット7は、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用するか否か(ここでは、空燃比操作量決定部13のON/OFFという)の判別処理を行って、空燃比操作量決定部13のON/OFFを規定するフラグf/prism/onの値を設定する(STEPd)。尚、フラグf/prism/onの値は、それが「0」のとき、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用しないこと(OFF)を意味し、「1」のとき、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用すること(ON)を意味する。

【0330】上記の判別処理では、図7に示すように、O<sub>2</sub> センサ6及びLAFセンサ5が活性化しているか否かの判別（STEP d-1、d-2）が行われ、いずれかが活性化していない場合には、空燃比操作量決定部13の処理に使用するO<sub>2</sub> センサ6及びLAFセンサ5の検出データを精度よく得ることができないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする（STEP d-10）。

【0331】また、エンジン1のリーン運転中（希薄燃焼運転）であるか否か（STEP d-3）、エンジン1の始動直後の触媒装置3の早期活性化を図るためにエンジン1の点火時期が遅角側に制御されているか否か（STEP d-4）、エンジン1のスロットル弁が全開であるか否か（STEP d-5）、及びエンジン1への燃料供給の停止中であるか否か（STEP d-6）の判別が行われ、これらのいずれかの条件が成立している場合には、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用してエンジン1の燃料供給を制御することは好ましくないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする（STEP d-10）。

【0332】さらに、エンジン1の回転数NE及び吸気圧PBがそれぞれ所定範囲内にあるか否かの判別が行われ（STEP d-7、d-8）、いずれかが所定範囲内がない場合には、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用してエンジン1の燃料供給を制御することは好ましくないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする（STEP d-10）。

【0333】そして、STEP d-1、d-2、d-7、d-8の条件が満たされ、且つ、STEP d-3、d-4、d-5、d-6の条件が成立していない場合に、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDをエンジン1の燃料供給の制御に使用すべく、フラグf/prism/onの値を「1」にセットする（STEP d-9）。

【0334】図6に戻って、上記のようにフラグf/prism/onの値を設定した後、制御ユニット7は、フラグf/prism/onの値を判断し（STEP e）、f/prism/on=1である場合には、空燃比操作量決定部13で生成された最新の目標空燃比KCMDを読み込む（STEP f）。また、f/prism/on=0である場合には、目標空燃比KCMDを所定値に設定する（STEP g）。この場合、目標空燃比KCMDとして設定する所定値は、例えばエンジン1の回転数NEや吸気圧PBからあらかじめ定めたマップ等を用いて決定する。

【0335】次いで、制御ユニット7は、前記局所的フィードバック制御部16において、前述の如くオブザーバ21によりLAFセンサ5の出力KACTから推定した各気筒毎の実空燃比#nA/Fに基づき、PID制御器22により、各気筒毎のばらつきを解消するようにフィードバック補正係数#nKLAFを算出し（STEP h）、さらに、

大局的フィードバック制御部15により、フィードバック補正係数KFBを算出する（STEP i）。

【0336】この場合、大局的フィードバック制御部15は、前述の如く、PID制御器17により求められるフィードバック操作量KLAFと、適応制御器18により求められるフィードバック操作量KSTRを目標空燃比KCMDで除算してなるフィードバック操作量kstrとから、切換部20によってエンジン1の運転状態等に応じていずれか一方のフィードバック操作量KLAF又はkstrを選択し（通常的には適応制御器18側のフィードバック操作量kstrを選択する）、それを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正量数KFBとして出力する。

【0337】尚、フィードバック補正係数KFBを、PID制御器17側のフィードバック操作量KLAFから適応制御器18側のフィードバック操作量kstrに切り換える際には、該補正係数KFBの急変を回避するために、適応制御器18は、その切換えの際の制御サイクルに限り、補正係数KFBを前回の補正係数KFB（＝KLAF）に保持するように、フィードバック操作量KSTRを求める。同様に、補正係数KFBを、適応制御器18側のフィードバック操作量kstrからPID制御器17側のフィードバック操作量KLAFに切り換える際には、PID制御器17は、自身が前回の制御サイクルで求めたフィードバック操作量KLAFが、前回の補正係数KFB（＝kstr）であったものとして、今回の補正係数KLAFを算出する。

【0338】上記のようにしてフィードバック補正係数KFBが算出された後、さらに、前記STEP fあるいはSTEP gで決定された目標空燃比KCMDに応じた第2補正係数KCMDMが第2補正係数算出部10により算出される（STEP j）。

【0339】次いで、制御ユニット7は、前述のように求められた基本燃料噴射量Timに、第1補正係数KTOTAL、第2補正係数KCMDM、フィードバック補正係数KFB、及び各気筒毎のフィードバック補正係数#nKLAFを乗算することで、各気筒毎の出力燃料噴射量#nToutを求める（STEP k）。そして、この各気筒毎の出力燃料噴射量#nToutが、付着補正部23によって、エンジン1の吸気管の壁面付着を考慮した補正を施された後（STEP m）、エンジン1の図示しない燃料噴射装置に出力される（STEP n）。

【0340】そして、エンジン1にあっては、各気筒毎の出力燃料噴射量#nToutに従って、各気筒への燃料噴射が行われる。

【0341】以上のような各気筒毎の出力燃料噴射量#nToutの算出及びそれに応じたエンジン1への燃料噴射がエンジン1のクランク角周期に同期したサイクルタイムで逐次行われ、これによりLAFセンサ5の出力KACT（触媒装置3に進入する排ガスの検出空燃比）が、目標空燃比KCMDに収束するように、エンジン1の燃料供給量（燃料噴射量）が制御される。この場合、特に、フィー

ドバック補正係数KFBとして、適応制御部18側のフィードバック操作量kstrを使用している状態では、エンジン1の運転状態の変化や特性変化等の挙動変化に対して、高い安定性を有して、LAFセンサ5の出力KACTが迅速に目標空燃比KCMDに収束制御される。

【0342】一方、前述のようなエンジン1の燃料制御と並行して、前記空燃比操作量決定部13は、一定周期の制御サイクルで図8のフローチャートに示すメインルーチン処理を行う。

【0343】すなわち、図8のフローチャートを参照して、空燃比操作量決定部13は、まず、自身の演算処理（前記同定器25、推定器26及びスライディングモード制御器27の演算処理）を実行するか否かの判別処理を行って、その実行の可否を規定するフラグf/prism/calの値を設定する（STEP1）。尚、フラグf/prism/calの値は、それが「0」のとき、空燃比操作量決定部13における演算処理を行わないことを意味し、「1」のとき、空燃比操作量決定部13における演算処理を行うことを意味する。

【0344】上記の判別処理は、図9のフローチャートに示すように行われる。

【0345】すなわち、前記図6のSTEPdの場合と同様に、O<sub>2</sub>センサ6及びLAFセンサ5が活性化しているか否かの判別（STEP1-1、1-2）が行われ、いずれかが活性化していない場合には、空燃比操作量決定部13の演算処理に使用するO<sub>2</sub>センサ6及びLAFセンサ5の検出データを精度よく得ることができないため、フラグf/prism/calの値を「0」にセットする（STEP1-6）。さらにこのとき、同定器25の後述する初期化を行うために、その初期化を行うか否かを規定するフラグf/id/resetの値を「1」にセットする（STEP1-7）。ここで、フラグf/id/resetの値は、それが「1」であるとき、初期化を行うことを意味し、「0」であるとき、初期化を行わないことを意味する。

【0346】また、エンジン1のリーン運転中（希薄燃焼運転）であるか否か（STEP1-3）、及びエンジン1の始動直後の触媒装置3の早期活性化を図るためにエンジン1の点火時期が遅角側に制御されているか否か（STEP1-4）の判別が行われ、これらのいずれかの条件が成立している場合には、O<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTを目標値V02/TARGETに整定させるような目標空燃比KCMDを算出しても、それがエンジン1の燃料制御に使用されることはないので、フラグf/prism/calの値を「0」にセットし（STEP1-6）、さらに同定器25の初期化を行うために、フラグf/id/resetの値を「1」にセットする（STEP1-7）。

【0347】図8に戻って、上記のような判別処理を行った後、空燃比操作量決定部13は、さらに、同定器25による前記ゲイン係数a1, a2, b1の同定（更新）処理を

実行するか否かの判別処理を行って、その実行の可否を規定するフラグf/id/calの値を設定する（STEP2）。尚、フラグf/id/calの値は、それが「0」のとき、同定器25による前記ゲイン係数a1, a2, b1の同定（更新）処理を行わないことを意味し、「1」のとき、同定（更新）処理を行うことを意味する。

【0348】このSTEP2の判別処理は、図10のフローチャートに示すように行われる。

【0349】すなわち、エンジン1のスロットル弁が全開であるか否か（STEP2-1）、エンジン1への燃料供給の停止中であるか否か（STEP2-2）、及びエンジン1のアイドル運転中であるか否か（STEP2-3）の判別が行われ、これらのいずれかの条件が成立している場合には、前記ゲイン係数a1, a2, b1を適正に同定することが困難であるため、フラグf/id/calの値を「0」にセットする（STEP2-5）。そして、STEP2-1～2-3のいずれの条件も成立していない場合には、同定器25による前記ゲイン係数a1, a2, b1の同定（更新）処理を実行すべくフラグf/id/calの値を「1」にセットする（STEP2-4）。

【0350】図8に戻って、空燃比操作量決定部13は、次に、前記減算処理部11、12からそれぞれ最新の前記偏差出力kact(k)（=KACT-FLAF/BASE）及びV02(k)（=V02/OUT-V02/TARGET）を取得する（STEP3）。この場合、減算処理部11、12は、前記図6のSTEPaにおいて取り込まれて図示しないメモリに記憶されたLAFセンサ5の出力KACT及びO<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTの時系列データの中から、最新のものを選択して前記偏差出力kact(k)及びV02(k)を算出し、それを空燃比操作量決定部13に与える。そして、該空燃比操作量決定部13に与えられた偏差出力kact(k)及びV02(k)は、該空燃比操作量決定部13内において、過去に与えられたものを含めて時系列的に図示しないメモリに記憶保持される。

【0351】次いで、空燃比操作量決定部13は、前記STEP1で設定されたフラグf/prism/calの値を判断し（STEP4）、f/prism/cal=0である場合、すなわち、空燃比操作量決定部13の演算処理を行わない場合には、スライディングモード制御器27で求めるべき前記対象排気系EへのSLD操作入力uslを強制的に所定値に設定する（STEP12）。この場合、該所定値は、例えばあらかじめ定めた固定値（例えば「0」）あるいは前回の制御サイクルで決定したSLD操作入力uslの値とする。尚、このようにSLD操作入力uslを所定値とした場合において、空燃比操作量決定部13は、その所定値のSLD操作入力uslに前記基準値FLAF/BASEを加算することで、今回の制御サイクルにおける目標空燃比KCMDを決定し（STEP13）、今回の制御サイクルの処理を終了する。

【0352】一方、STEP4の判断で、f/prism/cal

= 1である場合、すなわち、空燃比操作量決定部 13の演算処理を行う場合には、空燃比操作量決定部 13は、前記同定器 25による演算処理を行う (STEP 5)。

【0353】この同定器 25による演算処理は図 11のフローチャートに示すように行われる。

【0354】すなわち、同定器 25は、まず、前記STEP 2で設定されたフラグf/id/calの値を判断する (STEP 5-1)。このときf/id/cal=0であれば、前述の通り同定器 25によるゲイン係数a1, a2, b1の同定処理を行わないので、直ちに図 8のメインルーチンに復帰する。

【0355】一方、f/id/cal=1であれば、同定器 25は、さらに該同定器 25の初期化に係わる前記フラグf/id/resetの値 (これは、前記STEP 1等でその値が設定される) を判断し (STEP 5-2)、f/id/reset=1である場合には、同定器 25の初期化を行う (STEP 5-3)。この初期化では、前記同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットの各値があらかじめ定めた初期値に設定され (式 (3) の同定ゲイン係数ベクトル $\theta$ の初期化)、また、前記式 (9) の行列P (対角行列) の各成分があらかじめ定めた初期値に設定される。さらに、フラグf/id/resetの値は「0」にリセットされる。

【0356】次いで、同定器 25は、現在の同定ゲイン係数a1(k-1) ハット、a2(k-1) ハット、b1(k-1) ハットを用いて表される対象排気系Eの離散系モデル (前記式 (2) 参照) におけるO<sub>2</sub> センサ6の前記同定偏差出力V02(k) ハットを、前記STEP 3で制御サイクル毎に取得される偏差出力V02 及びkactの過去のデータV02(k-1)、V02(k-2)、kact(k-d-1) と、上記同定ゲイン係数a1(k-1) ハット、a2(k-1) ハット、b1(k-1) ハットとを用いて前記式 (2) あるいはこれと等価の前記式 (5) により算出する (STEP 5-4)。

【0357】さらに同定器 25は、新たな同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットを決定する際に使用する前記ベクトル $K\theta(k)$  を式 (8) により算出した後 (STEP 5-5)、以下に説明する同定器 25のマネージメント処理を行う (STEP 5-6)。

【0358】ここで、まず、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUT あるいは偏差出力V02 の挙動と、前記対象排気系Eの離散系モデルのゲイン係数a1, a2, b1の同定器 25による同定との関係について説明しておく。

【0359】図 12を参照して、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUT あるいは偏差出力V02 は、触媒装置 3を通過した排ガスの空燃比を示すものであり、この排ガスの空燃比は、一般に、図示のようにリーン側からリッチ側への変化が比較的急激に行われ (O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUT あるいは偏差出力V02 の時間的な変化度合いが比較的大きい)、リッチ側からリーン側への変化は比較的緩やか

に行われる (O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUT あるいは偏差出力V02 の時間的な変化度合いが比較的小さい)。そして、本願発明者等の知見によれば、対象排気系Eの離散系モデルのゲイン係数a1, a2, b1をO<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUT あるいは偏差出力V02 を用いて同定する場合、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUT あるいは偏差出力V02 の時間的な変化度合いが比較的小さい状態では、ゲイン係数a1, a2, b1の同定値が小さくなり過ぎる等して、適正な同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットが得られない場合が生じやすい。

【0360】そこで、本実施形態では、同定器 25による前記ゲイン係数a1, a2, b1の同定 (更新) を、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUT あるいは偏差出力V02 により示される空燃比が、リーン側からリッチ側に変化する挙動状態において行うようにしており、前記マネージメント処理は、上記のような挙動状態を特定するための処理である。

【0361】一方、図 13を参照して、適応スライディングモード制御を用いた本実施形態の制御によれば、O<sub>2</sub> センサ6の偏差出力V02 の前記状態量X (V02(k), V02(k-1)) は、その状態量Xの初期状態が例えば図中の点Qであるとしたとき、該状態量Xは、前記超平面 $\sigma=0$ に対して軌跡線Wで示すように変化する。そして、この場合、同図において、基本的には状態量Xが超平面 $\sigma=0$ の上側で変化している状態 (このとき状態量Xにより規定される線形関数 $\sigma$ の値は正となる) が、触媒装置 3を通過した排ガスの空燃比のリーン側からリッチ側への変化状態であり、状態量Xが超平面 $\sigma=0$ の下側で変化している状態 (このとき状態量Xにより規定される線形関数 $\sigma$ の値は負となる) が、リッチ側からリーン側への変化状態である。

【0362】従って、触媒装置 3を通過した排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態であるか否かの判断は、基本的には、線形関数 $\sigma$ の値が正であるか否かによって判断することができる。但し、このように線形関数 $\sigma$ の値が正であるか否かによって排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態であるか否かを判断するようにすると、状態量Xが超平面 $\sigma=0$ 上から僅かに変化しただけで、排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態であるか否かの判断結果が変わってしまい、その判断結果に応じて前記ゲイン係数a1, a2, b1の同定 (更新) 処理を安定して行う上では好ましくない。

【0363】このため、本実施形態では、次式 (50) により偏差出力V02 の時系列データを用いて定義されるマネージメント関数 $\gamma$ を導入し、

【0364】

【数50】

(50)

を、 $\gamma=0$ により表されるマネージメント用超平面 (こ

【0365】このマネージメント関数 $\gamma$ の係数m1, m2, m3

の場合は直線)が、前記図 1 3 に示したように、スライディングモード制御用の超平面  $\sigma = 0$  から若干上側 ( $\sigma > 0$  の領域) に存するように設定した。尚、本実施形態では、線形関数  $\sigma$  の係数  $s1$  を「1」に設定していることに合わせて、マネージメント関数  $\gamma$  の係数  $m1$  は「1」に設定している。

【0366】このようなマネージメント関数  $\gamma$  を導入すると、 $\gamma \geq 0$  となる状態では、確実に排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態となり、この挙動状態であるか否かの判断は、マネージメント関数  $\gamma$  の値が正(「0」を含む)であるか否かによって安定して行うことができる。

【0367】前記 STEP 5-6 のマネージメント処理は、上記のように定義されたマネージメント関数  $\gamma$  を用いて、O<sub>2</sub> センサ 6 の偏差出力 V02 により示される排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態、すなわち、同定器 2 5 による前記ゲイン係数  $a1, a2, b1$  の同定(更新)に好適な挙動状態であるか否かの判断を行うものであり、その処理は具体的には次のように行われる。

【0368】すなわち、図 1 4 のフローチャートを参照して、同定器 2 5 は、前記 STEP 3 (図 8 参照)で取得された最新の偏差出力  $V02(k)$  と前回の制御サイクルにおける偏差出力  $V02(k-1)$  とを用いて、式(50)によりマネージメント関数  $\gamma$  の値を算出する(STEP 5-6-1)。

【0369】次いで、同定器 2 5 は、 $\gamma \geq 0$  であるか否かを判断し(STEP 5-6-2)、 $\gamma \geq 0$  である場合には、排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態であるか否かを示すフラグ  $f/id/mng$  の値を「1」に設定し(STEP 5-6-3)、 $\gamma < 0$  である場合には、フラグ  $f/id/mng$  の値を「0」に設定する(STEP 5-6-4)。

【0370】これにより、排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態であるか否か、すなわち、同定器 2 5 による前記ゲイン係数  $a1, a2, b1$  の同定(更新)に好適な挙動状態であるか否かが、 $f/id/mng$  の値により示されることとなる。

【0371】図 1 1 の説明に戻って、同定器 2 5 は、前述のようにマネージメント処理を行った後、その処理において設定されるフラグ  $f/id/mng$  の値を判断し(STEP 5-7)、 $f/id/mng = 1$  である場合、すなわち、触媒装置 3 を通過した排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態(ゲイン係数  $a1, a2, b1$  の同定(更新)に好適な挙動状態)である場合には、前記同定誤差  $id/e$  (離散系モデル上での O<sub>2</sub> センサの同定偏差出力  $V02$  ハットと、実際の偏差出力  $V02$  との偏差。式(6)参照)を算出し(STEP 5-8)、 $f/id/mng = 0$  である場合には、前記同定誤差  $id/e$  の値を強制的に「0」とする(STEP 5-9)。

【0372】そして、同定器 2 5 は、STEP 5-8 あるいは STEP 5-9 で得られた同定誤差  $id/e$  と、前記 STEP 5-5 で算出された  $K\theta$  とを用いて前記式

(7) により新たな同定ゲイン係数ベクトル  $\theta(k)$ 、すなわち、新たな同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット、 $b1(k)$  ハットを算出する(STEP 5-10)。

【0373】ここで、前記 STEP 5-8 における同定誤差  $id/e$  は、基本的には、前記式(6)に従って算出すればよいのであるが、本実施形態では、例えば図 1 5

(a) にブロック図で示すように前記 STEP 3 (図 8 参照)で制御サイクル毎に取得する偏差出力  $V02$  と、前記 STEP 5-4 で制御サイクル毎に算出する同定偏差出力  $V02$  ハットとにそれぞれ同一特性のフィルタリングを施した上で、STEP 5-8 における同定誤差  $id/e$  の算出を行う。

【0374】すなわち、図 1 6 を参照して、前記触媒装置 3 を含む対象排気系 E の入力変化(LAF センサ 5 の出力  $KACT$  あるいは偏差出力  $kact$  の変化)に対する、該対象排気系 E の出力変化(O<sub>2</sub> センサ 6 の出力  $V02/OUT$  あるいは偏差出力  $V02$  の変化)のゲインの周波数特性は、一般に図に実線で示すように低周波数帯 C の周波数通過特性を有するローパス特性となる。従って、O<sub>2</sub> センサ 6 の出力  $V02/OUT$  (対象排気系 E の出力)を目標値  $V02/TARGET$  に制御すべく前記スライディングモード制御器 2 7 により目標空燃比  $KCMD$  (対象排気系 E の入力の目標値)を決定する上では、上記低周波数帯 C を重視する必要がある。

【0375】そして、スライディングモード制御器 2 7 は、基本的には、前述の通り同定器 2 5 で前記式(7)により同定した離散系モデルのゲイン係数  $a1, a2, b1$ 、すなわち同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットを用いて目標空燃比  $KCMD$  を求めるものであるため、該同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットにより定まる離散系モデルの周波数特性も、実際の対象排気系 E の周波数特性と同じような傾向の周波数特性(低周波数帯 C の周波数通過特性を有するローパス特性)となることが好ましい。

【0376】一方、同定器 2 5 による離散系モデルのゲイン係数  $a1, a2, b1$  の同定のための演算処理(式(7)~(9)を参照)は、対象排気系 E がローパス特性を有するため、例えば図 1 6 に仮想線で示すように前記低周波数帯 C よりも高周波側に重みを有する。このため、前記同定偏差出力  $V02$  ハット及び偏差出力  $V02$  をそのまま用いて求めた同定誤差  $id/e$  に応じて同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットを求めるようにすると、その同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットにより定まる離散系モデルの周波数特性が、実際の対象排気系 E の周波数特性と適合せず、前記低周波数帯 C 外での対象排気系 E のゲイン特性を重視した特性となる。特に、該低周波数帯 C における離散系モデルのゲインが実際の対象

排気系Eのゲインよりも小さなものとなりやすい。

【0377】そこで、本実施形態では、図16に一点鎖線で示すように低周波数帯Cに重みを有する特性（ローパス特性）のフィルタリングを、偏差出力V02と同定偏差出力V02ハットとに施した上で、STEP5-8における同定誤差 $id/e$ の算出を行う。

【0378】尚、このようなローパス特性のフィルタリング処理は、前記STEP3（図8）で取得する偏差出力V02と前記STEP5-4で算出する同定偏差出力V02ハットとをそれぞれ時系列的に記憶保持しておき、該偏差出力V02及び同定偏差出力V02ハットの時系列データのそれぞれについて、制御サイクル毎に、現在から過去に逆上った所定数のデータの加算平均あるいは重み付き加算平均を算出することで行われる。これは、デジタルフィルタの一手法で、一般に移動平均処理といわれる手法である。そして、STEP5-8における同定誤差 $id/e$ の算出は、上記のような移動平均処理で得られた偏差出力V02のフィルタリング値から同定偏差出力V02ハットのフィルタリング値を減算することで行われる。

【0379】このようなフィルタリング処理を行うことによって、該同定誤差 $id/e$ から前記式（7）によって求められる同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットにより定まる離散系モデルの周波数特性を、例えば図17（a）に示すように、実際の対象排気系Eの周波数特性と同じような傾向の周波数特性にすることができる。

【0380】この場合、本実施形態では、さらに、同図17（a）に示すように、離散系モデルの各周波数におけるゲインが対象排気系Eの各周波数におけるゲインよりも全体的に若干大きくなるように前記フィルタリングの重み特性を設定しておく。このようにすることで、離散系モデル及び対象排気系Eにおいて、ある出力変化

（具体的にはO<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTを目標値V02/TARGETに一致させるような出力変化）を生ぜしめる入力変化（LAFセンサ5の出力KACTあるいは偏差出力 $kact$ の変化）は、離散系モデルの方が対象排気系Eよりも小さくなる。このため、このような離散系モデルの同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットを用いて前記スライディングモード制御器27により対象排気系Eに与えるべき入力として求められる前記SLD操作入力 $usi$ は各周波数において、小さめの値となり、O<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束制御の安定性を高めることができる。

【0381】尚、本実施形態では、図17（a）のように、離散系モデルの各周波数におけるゲインが対象排気系Eの各周波数におけるゲインよりも全体的に若干大きくなるように前記フィルタリングの重み特性を設定したが、例えば図17（b）に示すように、前記低周波数帯Cにおける離散系モデルのゲインの周波数特性が対象排気系Eのゲインの周波数特性と略同一となり、且つ、低周波数帯Cよりも高周波側の周波数帯では、図17

（a）の場合と同様に、離散系モデルのゲインが対象排気系Eのゲインよりも若干大きくなるように前記フィルタリングの重み特性を設定しておくようにしてもよい。

【0382】このようにすると、低周波数帯Cよりも高周波側（対象排気系Eのゲインが比較的小さい周波数帯）では、図17（a）の場合と同様にO<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束制御の安定性が高まると同時に、その制御上重要な低周波数帯Cでは、実際の対象排気系Eの特性に適合した前記SLD操作入力 $usi$ をスライディングモード制御器27によって求めることができ、O<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの収束の迅速な追従性（速応性）を確保することができる。

【0383】また、本実施形態では、前記図15（a）にブロック図で示したように、偏差出力V02と同定偏差出力V02ハットとに前記フィルタリングを施した上で、同定誤差 $id/e$ の算出を行うようにしたが、例えば図15（b）に示すように、前記STEP5-4で同定偏差出力V02ハットを算出する前に、その算出に使用する偏差出力 $kact$ 、V02に同一特性のフィルタリングを施しておき、それらのフィルタリング値から前記式（5）により算出した同定偏差出力V02ハットと、先にフィルタリングを施した偏差出力V02のフィルタリング値とから同定誤差 $id/e$ を算出するようにしてもよい。あるいは、図15（c）に示すように偏差出力 $kact$ 、V02をそのまま用いて算出した同定偏差出力V02ハットと、偏差出力V02から前記式（6）をそのまま用いて同定誤差 $id/e$ を算出した後に、該同定誤差 $id/e$ にフィルタリングを施すようにしてもよい。つまり、同定誤差 $id/e$ の算出に際しての前述したようなフィルタリング処理は、結果的に偏差出力V02と同定偏差出力V02ハットとに同一特性のフィルタリングが施されていればよく、そのフィルタリング処理のタイミングは、任意に選択することが可能である。

【0384】図11の説明に戻って、同定器25は、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハット（同定ゲイン係数ベクトル $\theta$ ）を算出した後、その評価処理を行う（STEP5-11）。この評価処理では、図18のフローチャートに示すように、同定器25は、まず同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットのうち、同定ゲイン係数 $b1$ ハットの値が所定範囲内にあるか否かを判断することで、同定器25の同定処理の安定性を判断し（STEP5-11-1）、同定ゲイン係数 $b1$ ハットの値が所定範囲内にある場合には、さらに、前記STEP5-8で算出された同定誤差 $id/e$ の大きさが所定値 $\varepsilon 0$ 以下の十分小さなものとなったか否か（ $id/e$ がほぼ「0」に収束して、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットがほぼ確定した状態になったか否か）を判断する（STEP5-11-3）。このとき、 $|id/e| \leq \varepsilon 0$ であれば、そのまま図11のフローチャートの処理に復帰する。



【0385】一方、STEP 5-11-1の判断で、同定ゲイン係数 $b1$ ハットの値が所定範囲内に無い場合には、同定器 25 によるゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定処理が不安定で、適正な同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットを求めることが困難な状態であると考えられるので、前記STEP 5-3の場合と同様に同定器 25 の初期化を行い（STEP 5-11-2）、さらに、後述のスライディングモード制御の安定性の判断の際に使用するタイマカウンタ  $t_m$ （カウントダウンタイマ）の値を所定の初期値  $T_M$  にセットする（タイマカウンタ  $t_m$  の起動。STEP 5-11-4）。また、STEP 5-11-3の判断で、 $|id/e| > \varepsilon 0$  である場合、すなわち、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットがまだ十分に確定していない状態では、STEP 5-11-4の処理を行って、前記タイマカウンタ  $t_m$  の値を初期値  $T_M$  にセットする（タイマカウンタ  $t_m$  の起動）。

【0386】尚、本実施形態では、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットのうち、同定ゲイン係数 $b1$ ハットの値が所定範囲内にあるか否かにより同定器 25 の同定処理の安定性を判断したが、他の同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットについても同様の評価を行い、それらの値が不適切なものである場合にも同定器 25 の同定処理が不安定であるとして、STEP 5-11-2 及び STEP 5-11-4の処理を行うようにしてもよい。

【0387】図 11 の説明に戻って、前述のように同定ゲイン係数ベクトル  $\theta$  の評価処理を行った後、同定器 25 は、前記STEP 5-6で設定されるフラグ  $f/id/mng$  の値を判断し（STEP 5-12）、 $f/id/mng=1$  である場合、すなわち、触媒装置 3 を通過した排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態（ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定（更新）に好適な挙動状態）である場合には、次の制御サイクルの処理のために前記行列  $P(k)$  を前記式（9）により算出し（STEP 5-13）、図 8 のメインルーチンの処理に復帰する。また、 $f/id/mng=0$  である場合には、次の制御サイクルの処理の際に使用する前記行列  $P(k)$  を今現在の行列  $P(k-1)$  に維持し（STEP 5-14）、図 8 のメインルーチンの処理に復帰する。

【0388】以上が図 8 のSTEP 5における同定器 25 の演算処理である。

【0389】図 8 のメインルーチン処理の説明に戻って、前述の通り同定器 25 の演算処理が行われた後、空燃比操作量決定部 13 はゲイン係数 $a1, a2, b1$ を決定する（STEP 6）。この処理では、図 19 のフローチャートに示すように、前記STEP 2で設定されたフラグ  $f/id/cal$  の値が判断され（STEP 6-1）、 $f/id/cal=1$  である場合、すなわち、同定器 25 によるゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定処理を行った場合には、ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値として、それぞれ前記STEP 5-10（図 11 参照）で前述の通り同定器 25 により求められた同定

ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットにそれぞれ所定のスケーリング係数 $g1, g2, g3$ によりスケーリングを施したものを設定する（STEP 6-2）。尚、本実施形態ではスケーリング係数 $g1, g2, g3$ の値は、いずれも「1」としている。

【0390】また、 $f/id/cal=0$  である場合、すなわち、同定器 25 によるゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定処理を行わなかった場合には、ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値をそれぞれあらかじめ定めた所定値とする（STEP 6-3）。

【0391】次いで、空燃比操作量決定部 13 は、図 8 のメインルーチンにおいて、前記推定器 26 による演算処理（推定偏差出力  $V02$  パーの算出処理）を行う（STEP 7）。

【0392】この推定器 26 の演算処理は図 20 のフローチャートに示すように行われる。すなわち、推定器 26 は、前記STEP 6で決定されたゲイン係数 $a1, a2, b1$ を用いて、前記式（13）で使用する係数  $\alpha 1, \alpha 2, \beta j$  ( $j=1 \sim d$ ) を前述したように算出する（式（11）、（12）参照）（STEP 7-1）。さらに、推定器 26 は、式（13）で使用する LAF センサ 5 の偏差出力  $kact$ （前記図 8 のSTEP 3で取得されたもの）のフィルタリング処理（ローパス特性のフィルタリング）を行った後（STEP 7-2）、その偏差出力  $kact$  のフィルタリング値の時系列データと、 $O_2$  センサの偏差出力  $V02$  の時系列データ（前記図 8 のSTEP 3で取得されたもの）とSTEP 7-1で算出した係数  $\alpha 1, \alpha 2, \beta j$  とを用いて前記式（13）により、推定偏差出力  $V02(k+d)$  パー（今回の制御サイクルの時点から無駄時間  $d$  後の偏差出力  $V02$  の推定値）を算出する（STEP 7-3）。

【0393】ここで、前記STEP 7-2において LAF センサ 5 の偏差出力  $kact$  のフィルタリングを行うのは次の理由による。すなわち、前述したように触媒装置 3 を含む対象排気系 E はローパス特性の周波数特性を有するため（図 16 参照）、該対象排気系 E の出力としての前記  $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  を目標値  $V02/TARGET$  に制御する上では、前記低周波数帯 C（図 6 参照）を重視する必要がある。従って、スライディングモード制御器 27 が前記SLD操作入力  $usi$  を決定するために用いる推定偏差出力  $V02$  パーを前記式（13）により求めるに際しても、低周波数帯 C（図 6 参照）を重視することが好ましい。この場合、推定偏差出力  $V02$  パーを求めるために式（13）で使用する  $O_2$  センサ 6 の偏差出力  $V02$  及び LAF センサ 5 の偏差出力  $kact$  のうち、偏差出力  $V02$  は、対象排気系 E がローパス特性であるために、高周波成分をほとんど含まないが、偏差出力  $kact$  は一般に高周波成分も含みやすい。このために、本実施形態では、LAF センサ 5 の偏差出力  $kact$  のフィルタリング、すなわち、偏差出力  $kact$  の高周波成分の除去を行った上で、

前記式(13)により推定偏差出力V02 パーを求めるようにしている。

【0394】尚、上記のようなフィルタリングは、前記固定器25におけるフィルタリングの場合と同様に、移動平均処理によって行われる。

【0395】図8の説明に戻って、空燃比操作量決定部13は、次に、スライディングモード制御器27によって、前記SLD操作入力 $u_{sl}$ を算出する(STEP8)。

【0396】このSLD操作入力 $u_{sl}$ の算出は、図21のフローチャートに示すように行われる。

【0397】すなわち、スライディングモード制御器27は、まず、前記STEP8で推定器2により求められた推定偏差出力V02 パーの時系列データ(詳しくは、今回の制御サイクルで求められたV02(k+d)パーと、前回の制御サイクルで求められたV02(k+d-1)パー)を用いて、前記式(35)により定義された線形関数 $\sigma$ パーの今回の制御サイクルから無駄時間d後の値 $\sigma(k+d)$ パー(これは、式(14)で定義された線形関数 $\sigma$ の無駄時間d後の推定値に相当する)を算出する(STEP8-1)。

【0398】次いで、スライディングモード制御器27は、上記STEP8-1で制御サイクル毎に算出される $\sigma(k+d)$ パーを累積的に加算していく(前回の制御サイクルで求められた加算結果に今回の制御サイクルで算出された $\sigma(k+d)$ を加算する)ことで、 $\sigma(k+d)$ パーの積算値(これは式(37)の右端の項に相当する)を算出する(STEP8-2)。尚、この場合、本実施形態では、 $\sigma(k+d)$ パーの積算値があらかじめ定めた所定範囲内に収まるようにし、 $\sigma(k+d)$ パーの積算値が所定の上限值又は下限値を超えた場合には、それぞれ $\sigma(k+d)$ パーの積算値を該上限値又は下限値に制限するようにしている。これは、 $\sigma(k+d)$ パーの積算値の大きさが過大になると、前記式(37)により求められる適応則入力 $u_{adp}$ が過大となって、制御性が損なわれる虞れがあるからである。

【0399】次いで、スライディングモード制御器27は、前記図8のSTEP6で決定されたゲイン係数 $b1$ のリミット処理を次のように行う(STEP8-3)。

【0400】すなわち、図22のフローチャートを参照して、スライディングモード制御器27はゲイン係数 $b1$ の大きさがあらかじめ定めた所定値 $\varepsilon 1$ よりも小さいか否かを判断し(STEP3-1)、 $|b1| \geq \varepsilon 1$ である場合には、そのまま図21のフローチャートの処理に復帰する。

【0401】一方、 $|b1| < \varepsilon 1$ である場合( $b1 \neq 0$ の場合)には、ゲイン係数 $b1$ の符号が正( $b1 = 0$ の場合を含む)であるか否かに応じて、それぞれゲイン係数 $b1$ の値をあらかじめ定めた正の所定値( $\geq \varepsilon 1$ )及び負の所定値( $\leq -\varepsilon 1$ )に強制的に制限する。このように、ゲ

イン係数 $b1$ の大きさを制限して、該ゲイン係数 $b1$ が過小なものとなるのを防止するのは、前記式(34)、(36)、(37)を参照して明らかなように、ゲイン係数 $b1$ が、等価制御入力 $u_{eq}$ 、到達則入力 $u_{rch}$ 及び適応則入力 $u_{adp}$ の算出する際に、分母項として使用するものであるため、該ゲイン係数 $b1$ の大きさが小さ過ぎると、過大な等価制御入力 $u_{eq}$ 、到達則入力 $u_{rch}$ 及び適応則入力 $u_{adp}$ が算出されてしまうからである。

【0402】尚、本実施形態では、ゲイン係数 $b1$ の値のみを制限するようにしたが、他のゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ の値も制限するようにしてもよい。

【0403】図21の説明に戻って、上記のようにゲイン係数 $b1$ のリミット処理を行った後、スライディングモード制御器27は前記STEP8で推定器2により求められた推定偏差出力V02 パーの時系列データV02(k+d)パー、V02(k+d-1)パーと、STEP8-1及び8-2でそれぞれ求められた線形関数の値 $\sigma(k+d)$ パー及びその積算値と、STEP6で決定したゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット及びSTEP8-3で決定したゲイン係数 $b1$ ハットとを用いて、前記式(34)、(36)、(37)に従って、それぞれ等価制御入力 $u_{eq}$ 、到達則入力 $u_{rch}$ 及び適応則入力 $u_{adp}$ を算出する(STEP8-4)。

【0404】さらにスライディングモード制御器27は、STEP8-4で求めた等価制御入力 $u_{eq}$ 、到達則入力 $u_{rch}$ 及び適応則入力 $u_{adp}$ を加算することで、前記SLD操作入力 $u_{sl}$ 、すなわち、O<sub>2</sub>センサ6の出力V02/OUTを目標値V02/TARGETに収束させるために必要な対象排気系Eへの入力(LAFセンサ5で検出される排ガスの空燃比と基準値FLAF/BASEとの偏差)を算出する(STEP8-5)。

【0405】図8に戻って、上記のようにSLD操作入力 $u_{sl}$ を算出した後、空燃比操作量決定部13は、スライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御の安定性の判別処理を行って、該適応スライディングモード制御が安定であるか否かを示すフラグ $f_{sld/stb}$ の値を設定する(STEP8-6)。

【0406】この安定性の判別処理は図23のフローチャートに示すように行われる。

【0407】すなわち、空燃比操作量決定部13は、まず、前記STEP8-1で算出される線形関数 $\sigma$ パーの今回値 $\sigma(k+d)$ パーと前回値 $\sigma(k+d-1)$ パーとの偏差 $\Delta \sigma$ パー(これは線形関数の $\sigma$ パーの変化速度に相当する)を算出する(STEP9-1)。

【0408】次いで、空燃比操作量決定部13は、STEP9-1で算出した偏差 $\Delta \sigma$ パーと線形関数 $\sigma$ パーの今回値 $\sigma(k+d)$ パーとの積 $\Delta \sigma$ パー $\cdot \sigma(k+d)$ パー(これは $\sigma$ パーに関するリアプノフ関数 $\sigma$ パー<sup>2</sup>/2の時間微分関数に相当する)があらかじめ定めた所定値 $\varepsilon 2$ ( $\geq 0$ )以下であるか否かを判断する(STEP9-2)。

【0409】この場合、 $\Delta\sigma_{\text{バー}} \cdot \sigma(k+d)$   $\text{バー} > \varepsilon 2$  となる状態は、 $\sigma_{\text{バー}}^2$  が増加する側で、前記推定偏差出力  $V02(k+d)$ 、 $V02(k+d-1)$  が前記超平面  $\sigma=0$  から離間する方向へ変移している状態であるので、適応スライディングモード制御が不安定（前記STEP8で算出されるSLD操作入力  $u_{sl}$  が不適切）であると考えられる。このため、STEP9-2の判断で、 $\Delta\sigma_{\text{バー}} \cdot \sigma(k+d)$   $\text{バー} > \varepsilon 2$  である場合には、適応スライディングモード制御が不安定であるとして、同定器25の初期化を行うべく前記フラグ  $f/id/reset$  の値を「1」に設定し（STEP9-4）、さらに、前記STEP8で算出されるSLD操作入力  $u_{sl}$  を用いた目標空燃比  $KCMD$  の決定を所定時間、禁止するためにタイマカウンタ  $t_m$ （カウントダウンタイマ）の値を所定の初期値  $T_M$  にセットする（タイマカウンタ  $t_m$  の起動。STEP9-5）。そして、前記フラグ  $f/sld/stb$  の値を「0」（ $f/sld/stb=0$  は適応スライディングモード制御が不安定であることを示す）に設定する（STEP9-6）。

【0410】尚、STEP9-2の判断で使用する所定値  $\varepsilon 2$  は理論上は「0」でよいが、確率的外乱の影響を考慮すると、「0」よりも若干大きな値とすることが好ましい。

【0411】一方、前記STEP9-2の判断で、 $\Delta\sigma_{\text{バー}} \cdot \sigma(k+d)$   $\text{バー} \leq \varepsilon 2$  である場合には、空燃比操作量決定部13は、線形関数  $\sigma_{\text{バー}}$  の今回値  $\sigma(k+d)$   $\text{バー}$  があらかじめ定めた所定範囲内にあるか否かを判断する（STEP9-3）。

【0412】この場合、線形関数  $\sigma_{\text{バー}}$  の今回値  $\sigma(k+d)$   $\text{バー}$  が、所定範囲内に無い状態は、前記推定偏差出力  $V02(k+d)$ 、 $V02(k+d-1)$  が前記超平面  $\sigma=0$  から大きく離間している状態であるので、適応スライディングモード制御が不安定（前記STEP8で算出されるSLD操作入力  $u_{sl}$  が不適切）であると考えられる。このため、STEP9-2の判断で、線形関数  $\sigma_{\text{バー}}$  の今回値  $\sigma(k+d)$   $\text{バー}$  が、所定範囲内に無い場合には、適応スライディングモード制御が不安定であるとして、前述の場合と同様に、STEP9-5～9-6の処理を行って、同定器25の初期化を行うべく前記フラグ  $f/id/reset$  の値を「1」に設定すると共に、タイマカウンタ  $t_m$  を起動する。

【0413】また、STEP9-3の判断で、線形関数  $\sigma_{\text{バー}}$  の今回値  $\sigma(k+d)$   $\text{バー}$  が、所定範囲内にある場合には、空燃比操作量決定部13は、前記タイマカウンタ  $t_m$  を所定時間  $\Delta t_m$  分、カウントダウンし（STEP9-7）、さらに、該タイマカウンタ  $t_m$  の値が「0」以下であるか否か、すなわち、タイマカウンタ  $t_m$  を起動してから前記初期値  $T_M$  分の所定時間が経過したか否かを判断する（STEP9-8）。

【0414】このとき、 $t_m > 0$  である場合、すなわち、タイマカウンタ  $t_m$  が計時動作中でまだタイムアッ

プしていない場合は、STEP9-2あるいはSTEP9-3の判断で適応スライディングモード制御が不安定であると判断されてから、さほど時間を経過していない状態で、適応スライディングモード制御が不安定なものとなりやすいので、前記STEP9-6の処理を行って前記フラグ  $f/sld/stb$  の値を「0」に設定する。

【0415】そして、STEP9-8の判断で  $t_m \leq 0$  である場合、すなわち、タイマカウンタ  $t_m$  がタイムアップしている場合には、適応スライディングモード制御が安定であるとして、フラグ  $f/sld/stb$  の値を「1」

（ $f/sld/stb=1$  は適応スライディングモード制御が安定であることを示す）に設定する（STEP9-9）。

【0416】尚、前記タイマカウンタ  $t_m$  は、前記同定器25における同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットの前述の評価処理（前記図18のフローチャートの処理）において、前記同定誤差  $id/e$  が未収束状態で、同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットがまだ十分に確定していない場合でも起動される。このため、STEP9-2あるいはSTEP9-3の条件が満たされた場合であっても、STEP9-8の判断で  $t_m > 0$  となる場合があり、前記フラグ  $f/sld/stb$  の値が「0」に設定される。これは、同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットがまだ十分に確定していない段階では、該同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットを用いた適応スライディングモード制御が不安定なものとなり易いからである。

【0417】以上のような処理によって、スライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御の安定性が判断され、不安定であると判断した場合には、フラグ  $f/sld/stb$  の値が「0」に設定され、安定であると判断した場合には、フラグ  $f/sld/stb$  の値が「1」に設定される。

【0418】尚、本実施形態では、適応スライディングモード制御の安定性の判断は、基本的には、前記STEP9-2及び9-3の条件判断で行うようにしたが、いずれか一方の条件判断で行うようにしてもよく、あるいは、線形関数  $\sigma_{\text{バー}}$  の変化速度に相当する前記偏差  $\Delta\sigma_{\text{バー}}$  の大きさ（絶対値）を所定値と比較することで、適応スライディングモード制御の安定性の判断を行うようにすることも可能である。

【0419】図8に戻って、上記のようにスライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御の安定性を示すフラグ  $f/sld/stb$  の値を設定した後、空燃比操作量決定部13は、フラグ  $f/sld/stb$  の値を判断する（STEP10）。このとき、 $f/sld/stb=1$  である場合、すなわち、適応スライディングモード制御が安定であると判断された場合には、スライディングモード制御器27によって、前記STEP8で算出されたSLD操作入力  $u_{sl}$  のリミット処理が行われる（STEP11）。このリミット処理では、SLD操作入力  $u_{sl}$  の

値や、その値の変化幅が所定範囲に制限され、STEP 8で算出されたSLD操作入力 $usi$ の今回値 $usi(k)$ が所定の上限值又は下限値を超えている場合には、それぞれ、SLD操作入力 $usi$ の値が強制的に該上限値又は下限値に設定される。また、STEP 8で算出されたSLD操作入力 $usi$ の今回値 $usi(k)$ の前回値 $usi(k-1)$ からの変化量が所定量を超えている場合には、SLD操作入力 $usi$ の値が強制的に前回値 $usi(k-1)$ に該所定量を加えた値に設定される。

【0420】そして、空燃比操作量決定部13は、上記のようなSLD操作入力 $usi$ のリミット処理の後、スライディングモード制御器27によって、前記式(38)に従って前記目標空燃比KCMDを算出せしめ(STEP 13)、今回の制御サイクルの処理終了する。

【0421】また、前記STEP 10の判断で $f/sld/stb = 0$ である場合、すなわち、適応スライディングモード制御が不安定であると判断された場合には、空燃比操作量決定部13は、今回の制御サイクルにおけるSLD操作入力 $usi$ の値を強制的に所定値(固定値あるいはSLD操作入力 $usi$ の前回値)に設定した後(STEP 12)、スライディングモード制御器27によって、前記式(38)に従って前記目標空燃比KCMDを算出せしめ(STEP 13)、今回の制御サイクルの処理終了する。

【0422】尚、STEP 13で最終的に決定される目標空燃比KCMDは、制御サイクル毎に図示しないメモリに時系列的に記憶保持される。そして、前記大局的フィードバック制御器17等が、空燃比操作量決定部13で決定された目標空燃比KCMDを用いるに際しては(図6のSTEP fを参照)、上記のように時系列的に記憶保持された目標空燃比KCMDの中から最新のものが選択される。

【0423】以上説明した内容が本実施形態の装置の詳細な作動である。

【0424】すなわち、その作動を要約すれば、基本的には空燃比操作量決定部13によって、触媒装置3の下流側の $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ (これはプラントとしての対象排気系Eの出力に相当する)を目標値 $V02/TARGET$ に収束(整定)させるように、触媒装置3に進入する排ガスの目標空燃比KCMD(これは、対象排気系Eの目標入力に相当する)が逐次決定され、この目標空燃比KCMDに従って、対象排気系Eへの入力(排ガスの空燃比)を生成するアクチュエータとしてのエンジン1の燃料供給量が該目標空燃比KCMD及び触媒装置3の上流側の $LA$ センサ5の出力 $KACT$ に基づきフィードバック制御される。そして、上記のように触媒装置3の下流側の $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に整定させることで、触媒装置3の経時劣化等によらずに、触媒装置3の最適な排ガス浄化性能を確保することができる。

【0425】この場合、空燃比操作量決定部13は、本来的に外乱等の影響を受けにくいという特性を有するス

ライディングモード制御を用い、特に外乱等の影響を極力排除するための適応則を付加した適応スライディングモード制御を用いて前記目標空燃比KCMD(対象排気系Eの目標入力)を決定するため、 $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ (対象排気系Eの出力)を目標値 $V02/TARGET$ に整定させる上での確かな目標空燃比KCMDを外乱等の影響を極力抑えて安定して求めることができ、ひいては、 $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への制御を安定して精度よく行うことができる。

【0426】また、空燃比操作量決定部13のスライディングモード制御器27が適応スライディングモード制御により目標空燃比KCMDを決定するに際しては、推定器26により求められた推定偏差出力 $V02$ 、すなわち対象排気系Eの無駄時間 $d$ 後の $O_2$ センサ6の偏差出力 $V02$ の推定値を用い、その推定偏差出力 $V02$ により示される無駄時間 $d$ 後の $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ (対象排気系Eの出力)の推定値を目標値 $V02/TARGET$ に収束させるように目標空燃比KCMD(対象排気系Eの目標入力)が決定される。このため、対象排気系Eに存する無駄時間 $d$ の影響が補償(排除)され、これによっても、 $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束制御の安定性を高めることができる。

【0427】さらに、本実施形態では、スライディングモード制御器27により制御すべき状態量 $X$ として、 $O_2$ センサ6の偏差出力 $V02$ の現在以前の時系列データ $V02(k)$ 、 $V02(k-1)$ (より詳しくは、 $O_2$ センサ6の推定偏差出力 $V02$ の最新値以前の時系列データ $V02(k+d)$ バー、 $V02(k+d-1)$ バー)を用いることで、スライディングモード制御器27の演算処理を対象排気系Eの離散系モデル上で構築することができ、スライディングモード制御器27の演算処理を離散時間的なコンピュータ処理に適した簡素なものとすることができる。

【0428】さらに、上記のようにスライディングモード制御器27の演算処理のために対象排気系Eの離散系モデルを用いることで、該離散系モデルの設定すべきパラメータとしての前記ゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ を、本実施形態のような同定器25を用いてリアルタイムで同定して、離散系モデルの実際の対象排気系Eに対するモデル化誤差を実際の対象排気系Eの挙動状態に則して最小限に留めることができる。そして、該同定器25で同定したゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ を用いてスライディングモード制御器27の演算処理を行って目標空燃比KCMD(対象排気系Eの目標入力)を決定することで、 $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束制御する上で、的確な目標空燃比KCMDを対象排気系Eの実際の挙動状態に則して決定することができ、ひいては、 $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束制御の精度を高めることができる。特に、スライディングモード制御器27により制御すべき状態量 $X$ が前記超平面 $\sigma = 0$ に収束していない段階でのモデル化誤差の影響が極力抑え

られるため、 $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  の目標値  $V02/TARGET$  への収束制御の安定性を高めることができる。

【0429】また、前記推定器 26 にあっても、対象排気系 E の離散系モデルを用いて演算処理を行うことで、その演算処理をコンピュータ処理に適した簡素なものとするができる。そして、前記同定器 25 によりリアルタイムで同定された離散系モデルのゲイン係数  $a1$ ,  $a2$ ,  $b1$  を用いて推定器 25 の演算処理を行うことで、対象排気系 E の無駄時間  $d$  後の  $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  の推定値を表す前記推定偏差出力  $V02$  バーの精度を高めることができ、このような推定偏差出力  $V02$  バーを用いてスライディングモード制御器 27 により目標空燃比  $KCMD$  を決定することで、無駄時間  $d$  の影響を確実に排除して、 $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  の目標値  $V02/TARGET$  への収束制御を行うことができる。

【0430】また、本実施形態では、同定器 25 による離散系モデルのゲイン係数  $a1$ ,  $a2$ ,  $b1$  の同定処理に際して、その処理に用いる前記同定偏差出力  $V02$  ハット（これは対象排気系 E の離散系モデル上での出力に相当する）と、前記偏差出力  $V02$ （これは対象排気系 E の実際の出力に相当する）とに、対象排気系 E の入力変化に対する出力変化のゲインが比較的大きなものとなる周波数帯（図 16 の低周波数帯 C）に重みを有するフィルタリングを施すことによって、離散系モデルの周波数特性が実際の対象排気系 E の周波数特性に適合するように前記同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットを算出することができる。そして、このような同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットを用いてスライディングモード制御器 27 によって目標空燃比  $KCMD$  を決定すると共に推定器 26 による推定偏差出力  $V02$  バーの算出処理を行うことで、 $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  を目標値  $V02/TARGET$  に収束制御する上で重要な周波数帯における制御性を高めることができる。また、上記のフィルタリングの重み特性を適切に設定することで、 $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  の目標値  $V02/TARGET$  への収束制御の安定性や、速応性を高めることができる。

【0431】また、本実施形態では、 $O_2$  センサ 6 の偏差出力  $V02$  により把握される対象排気系 E の出力の挙動状態が、触媒装置 3 を通過した排ガスの空燃比（これは  $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  に相当する）がリーン側からリッチ側に变化する挙動状態、すなわち、ゲイン係数  $a1$ ,  $a2$ ,  $b1$  の同定（更新）に好適な特定の挙動状態である場合において、離散系モデルのゲイン係数  $a1$ ,  $a2$ ,  $b1$  の同定処理を行うようにしているため、スライディングモード制御器 27 による目標空燃比  $KCMD$  の決定処理や推定器 26 による推定偏差出力  $V02$  バーの算出処理を的確に行う上で好適な同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットを算出することができ、ひいては、 $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  の目標値  $V02/TARGET$  への収束制御を確実に行うことができる。

【0432】また、本実施形態では、同定器 25 による同定処理の安定性やスライディングモード制御器 27 による適応スライディングモード制御の安定性を判断し、それらが不安定と判断される場合に、同定器 25 の初期化を行うため、不適正な同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットを用いて、スライディングモード制御器 27 により不適正な目標空燃比  $KCMD$  が決定されたり、推定器 26 により不適正な推定偏差出力  $V02$  バーが算出されたりするような事態を回避することができる。

【0433】また、本実施形態では、スライディングモード制御器 27 による適応スライディングモード制御が不安定であると判断された場合や、その判断後、前記タイマカウンタ  $t_m$  の初期値  $T_M$  分の所定時間が経過するまでは、前記  $S L D$  操作入力  $u_{sl}$  を所定値として目標空燃比  $KCMD$  を決定するため、 $O_2$  センサ 6 の出力  $V02/OUT$  が異常な状態に制御されるような事態を確実に排除することができる。

【0434】次に、本発明の第 2 の実施形態を図 24 乃至図 26 を参照して説明する。尚、本実施形態は、前述の第 1 の実施形態において前記同定器 25 による前記  $S T E P 5 - 1 1$  の処理、すなわち同定ゲイン係数ベクトル  $\theta$  の評価処理（図 11 及び図 18 参照）の内容のみが、第 1 の実施形態のものと相違するものである。従って、本実施形態の説明では、第 1 の実施形態と同一構成部分については第 1 の実施形態と同一の参照符号を用いて説明を省略する。

【0435】本実施形態は、前記同定器 25 が同定するパラメータであるゲイン係数  $a1$ ,  $a2$ ,  $a3$  の値、すなわち、前記同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハット（同定ゲイン係数ベクトル  $\theta$  の要素）を所定の条件を満たすように制限し、その制限した同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットの値を用いて、前記第 1 の実施形態で説明した如く推定器 26 及びスライディングモード制御器 27 による演算処理を行うものである。

【0436】この場合、同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットの値を制限するための前記所定の条件は、前記式（1）で表した離散系モデルの応答遅れ要素（より詳しくは 1 次目の自己帰帰項及び 2 次目の自己帰帰項）に係わる同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハットの値の組み合わせを所定の組み合わせに制限するための条件（以下、第 1 制限条件という）と、上記離散系モデルの無駄時間要素に係わる同定ゲイン係数  $b1$  ハットの値を制限するための条件（以下、第 2 制限条件という）とがある。

【0437】ここで、これらの第 1 及び第 2 制限条件を説明する前に、同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットの値を制限する理由を説明しておく。

【0438】前述の第 1 の実施形態では、同定器 25 が同定ゲイン係数  $a1$  ハット、 $a2$  ハット、 $b1$  ハットを求めるに際して、それらの値に特別な制限を加えず、同定器 2

5が不安定であると判断した場合に同定器25の初期化を行うようにしている。ところが、本願発明者等の知見によれば、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUT（触媒装置3を通過した排ガスの酸素濃度）がその目標値V02/TARGETに安定して制御されている状態で、スライディングモード制御器27により前述の如く求められる目標空燃比KCMD（空燃比の操作量）が平滑的な時間変化を呈する状況と、高周波振動的な時間変化を呈する状況とが生じることが判明した。この場合、いずれの状況においても、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUTをその目標値V02/TARGETに制御する上では支障がないものの、目標空燃比KCMDが高周波振動的な時間変化を呈する状況は、該目標空燃比KCMDに基づいて制御されるエンジン1の円滑な運転を行う上では、あまり好ましくない。

【0439】そして、上記の現象について本願発明者等が検討したところ、スライディングモード制御器27が求める目標空燃比KCMDが平滑的なものとなるか高周波振動的なものとなるかは、同定器25により同定するゲイン係数a1、a2の値の組み合わせや、ゲイン係数b1の値の影響を受けることが判明した。

【0440】そこで、本実施形態は、前記第1制限条件と第2制限条件とを適切に設定し、これらの条件により、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハットの値の組み合わせや、同定ゲイン係数b1ハットの値を適切に制限することで、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの安定した制御性を確保しつつ、目標空燃比KCMDが高周波振動的なものとなるような状況を排除するものである。

【0441】このような背景に鑑み、本実施形態では前記第1制限条件及び第2制限条件は次のように設定する。

【0442】まず、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハットの値の組み合わせを制限するための第1制限条件に関し、本願発明者等の検討によれば、目標空燃比KCMDが平滑的なものとなるか高周波振動的なものとなるかは、ゲイン係数a1、a2の値により定まる前記式(13)の係数値α1、α2、すなわち、前記推定器26が前記推定偏

差出力V02(k+d)バーを前記式(13)に従って求めるために使用する前記係数値α1、α2（これらの係数値α1、α2は前記式(11)で定義した行列Aの巾乗A<sup>d</sup>の第1行第1列成分及び第1行第2列成分である）の組み合わせが密接に関連している。

【0443】具体的には、図24に示すように係数値α1、α2をそれぞれ成分とする座標平面を設定したとき、係数値α1、α2の組により定まる該座標平面上の点が図24の斜線を付した領域（三角形Q1 Q2 Q3で囲まれた領域（境界を含む））。以下この領域を推定係数安定領域という）に存するとき、目標空燃比KCMDの時間変化が平滑的なものとなりやすい。逆に、係数値α1、α2の組により定まる点が上記の推定係数安定領域を逸脱しているような場合には、目標空燃比KCMDの時間変化が高周波振動的なものとなったり、あるいは、O<sub>2</sub> センサ6の出力V02/OUTの目標値V02/TARGETへの制御性が悪化しやすい。

【0444】従って、同定器25により同定するゲイン係数a1、a2の値、すなわち同定ゲイン係数a1ハット、a2ハットの値の組み合わせは、これらの値により定まる係数値α1、α2の組に対応する図24の座標平面上の点が上記推定係数安定領域内に存するように制限することが好ましい。

【0445】尚、図24において、上記推定係数安定領域を含んで座標平面上に表した三角形領域Q1 Q4 Q3は、次式(51)により定義される系、すなわち、前記式(13)の右辺のV02(k)及びV02(k-1)をそれぞれV02(k)バー及びV02(k-1)バー（これらのV02(k)バー及びV02(k-1)バーは、それぞれ、推定器26により無駄時間d前に求められる推定偏差出力及びその1制御サイクル前に求められる推定偏差出力を意味する）により置き換えてなる式により定義される系が、理論上、安定となるような係数値α1、α2の組み合わせを規定する領域である。

【0446】

【数51】

$$\overline{V02}(k+d) = a_1 \cdot \overline{V02}(k) + a_2 \cdot \overline{V02}(k-1) + \sum_{j=1}^d \beta_j \cdot kact(k-j) \quad \text{----- (51)}$$

【0447】すなわち、式(51)により表される系が安定となる条件は、その系の極（これは、次式(52)により与えられる）が複素平面上の単位円内に存在する

$$\text{式51の系の極} = \frac{a_1 \pm \sqrt{a_1^2 + 4 \cdot a_2}}{2} \quad \text{----- (52)}$$

【0449】そして、図24の三角形領域Q1 Q4 Q3は、上記の条件を満たす係数値α1、α2の組み合わせを規定する領域である。従って、前記推定係数安定領域は、前記式(51)により表される系が安定となるよう

ことである。

【0448】

【数52】

な係数値α1、α2の組み合わせのうち、α1 ≥ 0となる組み合わせを表す領域である。

【0450】一方、係数値α1、α2は、ゲイン係数a1、a2の値の組み合わせにより定まるので、逆算的

に、係数値  $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$  の組み合わせからゲイン係数  $a 1$ 、 $a 2$  の値の組み合わせも定まる。従って、係数値  $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$  の好ましい組み合わせを規定する図 24 の推定係数安定領域は、ゲイン係数  $a 1$ 、 $a 2$  を座標成分とする図 25 の座標平面上に変換することができ、この変換を行うと、該推定係数安定領域は、図 25 の座標平面上では、例えば図 25 の仮想線で囲まれた領域（下部に凹凸を有する大略三角形形状の領域。以下、同定係数安定領域という）に変換される。すなわち、ゲイン係数  $a 1$ 、 $a 2$  の値の組により定まる図 25 の座標平面上の点が、同図の仮想線で囲まれた同定係数安定領域に存するとき、それらのゲイン係数  $a 1$ 、 $a 2$  の値により定まる係数値  $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$  の組に対応する図 24 の座標平面上の点が前記推定係数安定領域内に存することとなる。

【0451】従って、同定器 25 により求める同定ゲイン係数  $a 1$  ハット、 $a 2$  ハットの値を制限するための前記第 1 制限条件は、基本的には、それらの値により定まる図 25 の座標平面上の点が前記同定係数安定領域に存することとして設定することが好ましい。

【0452】但し、図 25 に仮想線で示した同定係数安定領域の境界の一部（図の下部）は凹凸を有する複雑な形状を呈しているため、実用上、同定ゲイン係数  $a 1$  ハット、 $a 2$  ハットの値により定まる図 25 の座標平面上の点を同定係数安定領域内に制限するための処理が煩雑なものとなりやすい。

【0453】そこで、本実施形態では、同定係数安定領域を、例えば図 25 の実線で囲まれた四角形  $Q 5$ 、 $Q 6$ 、 $Q 7$ 、 $Q 8$  の領域（境界を直線状に形成した領域。以下、同定係数制限領域という）により大略近似する。この場合、この同定係数制限領域は、図示の如く、 $|a 1| + a 2 = 1$  なる関数式により表される折れ線（線分  $Q 5$ 、 $Q 6$  及び線分  $Q 5$ 、 $Q 8$  を含む線）と、 $a 1 = A 1 L$ （ $A 1 L$ ：定数）なる定値関数式により表される直線（線分  $Q 6$ 、 $Q 7$  を含む直線）と、 $a 2 = A 2 L$ （ $A 2 L$ ：定数）なる定値関数式により表される直線（線分  $Q 7$ 、 $Q 8$  を含む直線）とにより囲まれた領域である。そして、同定ゲイン係数  $a 1$  ハット、 $a 2$  ハットの値を制限するための前記第 1 制限条件を、それらの値により定まる図 25 の座標平面上の点が上記同定係数制限領域に存することとして設定し、同定ゲイン係数  $a 1$  ハット、 $a 2$  ハットの値により定まる点が同定係数制限領域に存するようにそれらの値を制限する。この場合、同定係数制限領域の下辺部の一部は、前記同定係数安定領域を逸脱しているものの、現実には同定器 25 が求める同定ゲイン係数  $a 1$  ハット、 $a 2$  ハットの値により定まる点は上記の逸脱領域には入らないことを実験的に確認している。従って、上記の逸脱領域があっても、実用上は支障がない。

【0454】尚、このような同定係数制限領域の設定の仕方は例示的なもので、該同定係数制限領域は、基本的には、前記同定係数安定領域に等しいか、もしくは該同

定係数安定領域を大略近似し、あるいは、同定係数制限領域の大部分もしくは全部が同定係数安定領域に属するように設定すれば、どのような形状のものに設定してもよい。つまり、同定係数制限領域は、同定ゲイン係数  $a 1$  ハット、 $a 2$  ハットの値の制限処理の容易さ、実際上の制御性等を考慮して種々の設定が可能である。例えば本実施形態では、同定係数制限領域の上半部の境界を  $|a 1| + a 2 = 1$  なる関数式により規定しているが、この関数式を満たすゲイン係数  $a 1$ 、 $a 2$  の値の組み合わせは、前記式（52）により与えられる系の極が複素平面上の単位円周上に存するような理論上の安定限界の組み合わせである。従って、同定係数制限領域の上半部の境界を例えば  $|a 1| + a 2 = r$ （但し、 $r$  は上記の安定限界に対応する「1」よりも若干小さい値で、例えば 0.99）なる関数式により規定し、制御の安定性をより高めるようにしてもよい。

【0455】また、前記同定係数制限領域の基礎となる図 25 の同定係数安定領域も例示的なものであり、図 24 の推定係数安定領域に対応する同定係数安定領域は、係数値  $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$  の定義から明らかなように（式（12）、（13）を参照）、無駄時間  $d$ （より正確にはその設定値）の影響も受け、該無駄時間  $d$  の値によって、同定係数安定領域の形状が変化する。この場合、同定係数安定領域がどのような形状のものであっても、前記同定係数制限領域は、同定係数安定領域の形状に合わせて前述の如く設定すればよい。

【0456】次に、同定器 25 が同定する前記ゲイン係数  $b 1$  の値、すなわち同定ゲイン係数  $b 1$  ハットの値を制限するための前記第 2 制限条件は本実施形態では次のように設定する。

【0457】すなわち、本願発明者等の知見によれば、前記目標空燃比  $K C M D$  の時間的变化が高周波振動的なものとなる状況は、同定ゲイン係数  $b 1$  ハットの値が過大もしくは過小となるような場合にも生じ易い。そこで、本実施形態では、同定ゲイン係数  $b 1$  ハットの値の上限值  $B 1 H$  及び下限値  $B 1 L$ （ $B 1 H > B 1 L > 0$ ）をあらかじめ実験やシミュレーションを通じて定めておく。そして、前記第 2 制限条件を、同定ゲイン係数  $b 1$  ハットの値が上限値  $B 1 H$  以下で且つ下限値  $B 1 L$  以上の値になること（ $B 1 L \leq b 1$  ハット  $\leq B 1 H$  の不等式を満たすこと）として設定する。

【0458】以上説明した如く設定した第 1 制限条件及び第 2 制限条件により同定ゲイン係数  $a 1$  ハット、 $a 2$  ハット、 $b 1$  ハットの値を制限するための処理は、本実施形態では、前記 STEP 5-11 における同定ゲイン係数ベクトル  $\theta$  の評価処理において、次のように行われる。

【0459】すなわち、図 26 のフローチャートを参照して、同定器 25 は、前記図 11 の STEP 5-10 で前述の如く求めた同定ゲイン係数  $a 1(k)$  ハット、 $a 2(k)$  ハット、 $b 1(k)$  ハットについて、まず、同定ゲイン係数

$a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハットの値の組み合わせを前記第 1 制限条件により制限するための処理を STEP 5-11-5~5-11-1 で行う。

【0460】具体的には、同定器 25 は、まず、STEP 5-10 で求めた同定ゲイン係数  $a2(k)$  ハットの値が、前記同定係数制限領域におけるゲイン係数  $a2$  の下限値  $A2L$  (図 25 参照) 以上の値であるか否かを判断する (STEP 5-11-5)。

【0461】このとき、 $a2(k)$  ハット  $< A2L$  であれば、同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハットの値の組により定まる図 25 の座標平面上の点 (以下、この点を ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) で表す) が同定係数制限領域から逸脱しているため、 $a2(k)$  ハットの値を強制的に上記下限値  $A2L$  に変更する (STEP 5-11-6)。この処理により、図 25 の座標平面上の点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) は、少なくとも  $a2=A2L$  により表される直線 (線分  $Q7$   $Q8$  を含む直線) の上側 (該直線上を含む) の点に制限される。

【0462】次いで、同定器 25 は、STEP 5-10 で求めた同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハットの値が、前記同定係数制限領域におけるゲイン係数  $a1$  の下限値  $A1L$  (図 25 参照) 以上の値であるか否か、並びに、同定係数制限領域におけるゲイン係数  $a1$  の上限値  $A1H$  (図 25 参照) 以下の値であるか否かを順次判断する (STEP 5-11-7、5-11-9)。尚、同定係数制限領域におけるゲイン係数  $a1$  の上限値  $A1H$  は、図 25 から明らかなように折れ線  $|a1| + a2 = 1$  (但し  $a1 > 0$ ) と、直線  $a2 = A2L$  との交点  $Q8$  の  $a1$  座標成分であるので、 $A1H = 1 - A2L$  である。

【0463】このとき、 $a1(k)$  ハット  $< A1L$  である場合、あるいは、 $a1(k)$  ハット  $> A1H$  である場合には、図 25 の座標平面上の点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) が同定係数制限領域から逸脱しているため、 $a1(k)$  ハットの値をそれぞれの場合に応じて、強制的に上記下限値  $A1L$  あるいは上限値  $A1H$  に変更する (STEP 5-11-8、5-11-10)。

【0464】この処理により、図 25 の座標平面上の点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) は、 $a1=A1L$  により表される直線 (線分  $Q6$   $Q7$  を含む直線) と、 $a1=A1H$  により表される直線 (点  $Q8$  を通って  $a1$  軸に直行する直線) との間の領域 (両直線上を含む) に制限される。

【0465】尚、STEP 5-11-7 及び 5-11-8 の処理と、STEP 5-11-9 及び 5-11-10 の処理とは順番を入れ換えてもよい。また、前記 STEP 5-11-5 及び 5-11-6 の処理は、STEP 5-11-7~5-11-10 の処理の後に行うようにしてもよい。

【0466】次いで、同定器 25 は、前記 STEP 5-11-5~5-11-10 を経た今現在の  $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハットの値が  $|a1| + a2 \leq 1$  なる不等式を満

たすか否か、すなわち、点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) が  $|a1| + a2 = 1$  なる関数式により表される折れ線 (線分  $Q5$   $Q6$  及び線分  $Q5$   $Q8$  を含む線) の下側 (折れ線上を含む) にあるか上側にあるかを判断する (STEP 5-11-11)。

【0467】このとき、 $|a1| + a2 \leq 1$  なる不等式が成立しておれば、前記 STEP 5-11-5~5-11-10 を経た  $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハットの値により定まる点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) は、同定係数制限領域 (その境界を含む) に存している。

【0468】一方、 $|a1| + a2 > 1$  である場合は、点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) が、同定係数制限領域からその上方側に逸脱している場合であり、この場合には、 $a2(k)$  ハットの値を強制的に、 $a1(k)$  ハットの値に応じた値 ( $1 - |a1(k)|$  ハット) に変更する (STEP 5-11-12)。換言すれば、 $a1(k)$  ハットの値を現状に保持したまま、点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) を  $|a1| + a2 = 1$  なる関数式により表される折れ線上 (同定係数制限領域の境界である線分  $Q5$   $Q6$  上、もしくは線分  $Q5$   $Q8$  上) に移動させる。

【0469】以上のような STEP 5-11-5~5-11-12 の処理によって、同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハットの値は、それらの値により定まる点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) が同定係数制限領域内に存するように制限される。尚、前記 STEP 5-10 で求められた同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハットの値に対応する点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) が同定係数制限領域内に存する場合は、それらの値は保持される。

【0470】この場合、前述の処理によって、前記離散系モデルの 1 次目の自己回帰項に係わる同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハットに関しては、その値が、同定係数制限領域における下限値  $A1L$  及び上限値  $A1H$  の間の値となっている限り、その値が強制的に変更されることはない。また、 $a1(k)$  ハット  $< A1L$  である場合、あるいは、 $a1(k)$  ハット  $> A1H$  である場合には、それぞれ、同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハットの値は、同定係数制限領域においてゲイン係数  $a1$  が採りうる最小値である下限値  $A1L$  と、同定係数制限領域においてゲイン係数  $a1$  が採りうる最大値である下限値  $A1H$  とに強制的に変更されるので、これらの場合における同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハットの値の変更量は最小なものとなる。つまり、STEP 5-10 で求められた同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハットの値に対応する点 ( $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハット) が同定係数制限領域から逸脱している場合には、同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハットの値の強制的な変更は最小限に留められる。

【0471】このようにして、同定ゲイン係数  $a1(k)$  ハット、 $a2(k)$  ハットの値を制限したのち、同定器 25 は、同定ゲイン係数  $b1(k)$  ハットの値を前記第 2 制限条件に従って制限する処理を STEP 5-11-13~5



—11—16で行う。

【0472】すなわち、同定器25は、前記STEP5—10で求めた同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値が、前記下限値 $B1L$ 以上であるか否かを判断し（STEP5—11—13）、 $B1L > b1(k)$ ハットである場合には、 $b1(k)$ ハットの値を強制的に上記下限値 $B1L$ に変更する（STEP5—11—14）。

【0473】さらに、同定器25は、同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値が、前記上限値 $B1H$ 以上であるか否かを判断し（STEP5—11—15）、 $B1H < b1(k)$ ハットである場合には、 $b1(k)$ ハットの値を強制的に上記上限値 $B1H$ に変更する（STEP5—11—16）。

【0474】このようなSTEP5—11—13～5—11—16の処理によって、同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値は、下限値 $B1L$ 及び上限値 $B1H$ の間の範囲の値に制限される。

【0475】このようにして、同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハットの値の組み合わせと同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値とを制限した後は、同定器25は、前記図18のSTEP5—11—3及び5—11—4と同じ処理を行う。すなわち、前記STEP5—8（図11参照）で算出された同定誤差 $id/e$ の大きさが所定値 $\varepsilon 0$ 以下の十分小さなものとなったか否か（ $id/e$ がほぼ「0」に収束して、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットがほぼ確定した状態になったか否か）を判断する（STEP5—11—17）。このとき、 $|id/e| \leq \varepsilon 0$ であれば、そのまま図11のフローチャートの処理に復帰する。

【0476】一方、STEP5—11—17の判断で、 $|id/e| > \varepsilon 0$ である場合には、前述の第1の実施形態で説明した如くスライディングモード制御の安定性の判断の際に使用するタイマカウンタ $t_m$ （カウントダウンタイマ）の値を所定の初期値 $T_M$ にセットした後（タイマカウンタ $t_m$ の起動。STEP5—11—18）、図11のフローチャートの処理に復帰する。

【0477】以上説明した以外の他の作動は、前述の第1の実施形態と全く同一である。この場合において、図11のSTEP5—10で同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハット、 $b1(k)$ ハットを求めるために使用する同定ゲイン係数の前回値 $a1(k-1)$ ハット、 $a2(k-1)$ ハット、 $b1(k-1)$ ハットは、前回の制御サイクルにおけるSTEP5—11の処理で前述の如く第1及び第2制限条件により制限を行った同定ゲイン係数の値である。このため、各制御サイクルにおいて前記STEP5—10で求められる同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハット、 $b1(k)$ ハットの値は前記第1及び第2の制限条件を満たす値に収まりやすくなる。

【0478】尚、本実施形態では、同定ゲイン係数 $b1$ の値は前記STEP5—11—13～5—11—16の処理により、その上限及び下限が正の値に制限されるの

で、前記図21のSTEP8—3の処理を省略してもよい。

【0479】以上説明した本実施形態によれば、第1の実施形態と同様の作用効果を奏することはもちろんであるが、同定器25により求める同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの値を前述の如く設定した第1及び第2制限条件に従って制限することで、特に、スライディングモード制御器27が求める目標空燃比 $KCMD$ が高周波振動的な変化を生じるのを確実に排除することができ、エンジン1の円滑な運転を行いつつ、触媒装置3の下流側の $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に高精度で制御することができる。すなわち、エンジン1の円滑な運転を行いつつ、触媒装置3の最適な浄化性能を確保することができる。

【0480】この場合、特に対象排気系Eの離散系モデルの応答遅れ要素に係わる同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットについては、それらの値を個別に制限するのではなく、それらの値を、両者の値の相関性をもった組み合わせにより制限することで、 $O_2$ センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に制御し、また、目標空燃比 $KCMD$ が高周波振動的な変化を生じるのを確実に排除する上で最適な同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値を得ることができる。

【0481】また、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値の組み合わせの制限に際しては、式（1）の右辺の自己回帰項のうちの低次側の自己回帰項（1次目の自己回帰項）に係わる同定ゲイン係数 $a1$ ハット、別の言い方をすれば式（1）により表現した離散系モデルにおいて、 $O_2$ センサ6のより新しい出力 $V02/OUT$ もしくは偏差出力 $V02$ に係わる同定ゲイン係数 $a1$ ハットの値の変更量が最小となるように $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値の組み合わせの制限を行うことで、より信頼性の高い目標空燃比 $KCMD$ を算出することができ、安定した制御を行うことができる。

【0482】さらに、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値の組み合わせを制限するための前記同定係数制限領域（図25参照）は、その境界を直線状に設定したため、 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値を制限するための処理を容易に行うことができる。

【0483】尚、本発明、特に本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置は、前述した第1及び第2の実施形態に限定されるものではなく、例えば次のような変形態様も可能である。

【0484】すなわち、前記第1及び第2の実施形態では、第2排ガスセンサとして、 $LAF$ センサ（広域空燃比センサ）5を用いたが、第2排ガスセンサは排ガスの空燃比を検出できるものであれば、通常の $O_2$ センサ等、他の形式のセンサを用いてもよい。

【0485】また、前記第1及び第2の実施形態では、第1排ガスセンサとして $O_2$ センサ6を用いたが、第1

排ガスセンサは、制御すべき触媒装置下流の排ガスの特定成分の濃度を検出できるセンサであれば、他のセンサを用いてもよい。すなわち、例えば触媒装置下流の排ガス中の一酸化炭素(CO)を制御する場合はCOセンサ、窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )を制御する場合には $\text{NO}_x$ センサ、炭化水素(HC)を制御する場合にはHCセンサを用いる。三元触媒装置を使用した場合には、上記のいずれのガス成分の濃度を検出するようにしても、触媒装置の浄化性能を最大限に発揮させるように制御することができる。また、還元触媒装置や酸化触媒装置を用いた場合には、浄化したいガス成分を直接検出することで、浄化性能の向上を図ることができる。

【0486】また、第1及び第2の実施形態では、対象排気系Eの離散系モデルや、同定器25、推定器26、スライディングモード制御器27の演算処理において、LAFセンサ5の偏差出力 $k_{act}$ や $\text{O}_2$ センサ6の偏差出力 $V_{O2}$ を用いたが、LAFセンサ5の出力 $K_{ACT}$ や $\text{O}_2$ センサ6の出力 $V_{O2}/OUT$ をそのまま用いて、対象排気系Eの離散系モデルを構築したり、同定器25、推定器26、スライディングモード制御器27の演算処理を行うようにしてもよい。但し、離散系モデルの簡素化や同定器25、推定器26、スライディングモード制御器27の演算処理の簡素化を図る上では、本実施形態のように偏差出力 $k_{act}$ 、 $V_{O2}$ を用いることが好ましい。また、この場合において、偏差出力 $k_{act}$  ( $=K_{ACT}-FLAF/BASE$ )に係わる前記基準値 $FLAF/BASE$ は必ずしも一定値とする必要はなく、該基準値 $FLAF/BASE$ をエンジン1の回転数 $NE$ や吸気圧 $PB$ 等に応じて設定するようにしてもよい。

【0487】また、第1及び第2の実施形態では、空燃比操作量決定部13により決定する操作量を触媒装置3に進入する排ガスの目標空燃比 $KCMD$ (対象排気系Eの目標入力)とし、その目標空燃比 $KCMD$ に従ってエンジン1の燃料供給量をフィードバック制御するようにしたが、例えばエンジン1の燃料供給量の補正量を空燃比操作量決定部13により決定するようにすることも可能であり、また、目標空燃比 $KCMD$ からフィードフォワード的にエンジン1の燃料供給量を制御するようにすることも可能である。

【0488】また、第1及び第2の実施形態では、スライディングモード制御器27は、外乱の影響を考慮した適応則を有する適応スライディングモード制御を用いたが、該適応則を省略した一般のスライディングモード制御を用いるようにしてもよい。

【0489】また、第1及び第2の実施形態では、スライディングモード制御器27は、制御すべき状態量を二つの偏差出力 $V_{O2}(k)$ 、 $V_{O2}(k-1)$ としたが、さらに多くの偏差出力(例えば $V_{O2}(k)$ 、 $V_{O2}(k-1)$ 、 $V_{O2}(k-2)$ 等)を制御すべき状態量として用いるようにしてもよい。

【0490】また、第1及び第2の実施形態では、適応スライディングモード制御が不安定であると判断した場

合に、前記SLD操作入力 $u_{sl}$ を強制的に所定値とし、従って、目標空燃比 $KCMD$ も所定値となるようにしたが、適応スライディングモード制御が不安定であると判断した場合に、例えばPID制御器等、空燃比操作量決定部13とは別に備えた制御器を用いて、暫定的に $\text{O}_2$ センサ6の出力 $V_{O2}/OUT$ が目標値 $V_{O2}/TARGET$ に収束するように目標空燃比 $KCMD$ を決定するようにしてもよい。

【0491】また、第1及び第2の実施形態では、推定器26による演算処理とスライディングモード制御器27の演算処理とを、前記式(1)により表される対象排気系Eの同一の離散系モデルに基づいて行うようにしたが、推定器26とスライディングモード制御器27とで各別の離散系モデルに基づいて演算処理を行うようにしてもよい。さらにこの場合、推定器26用の離散系モデルのパラメータは、あらかじめ定めた所定値に保持したり、エンジン1の運転状態や触媒装置3の劣化状態に応じてマップ等を用いて適宜設定するようにしてもよく、さらには、推定器26による演算処理は、対象排気系Eの連続系モデルに基づいて行うようにしてもよい。

【0492】さらに、排気系の無駄時間が十分に小さいような場合にあっては、推定器26を省略するようにしてもよく、この場合には、例えば前記第1の実施形態において、無駄時間 $d=0$ として、推定器26の処理を省略すればよい。この場合、スライディングモード制御器は、前記式(20)、(21)、(25)において、 $d=0$ とした式によって、目標空燃比 $KCMD$ を決定するための等価制御入力 $u_{eq}$ 、到達則入力 $u_{rch}$ 及び適応則入力 $u_{adp}$ を求めるようにすればよい。また、この場合において、第2の実施形態のように同定器25により同定するパラメータの値を制限する場合には、その制限条件は、推定器26の処理と無関係に、制御の安定性等を考慮し、各種実験やシミュレーションを通じて設定すればよい。

【0493】また、第1及び第2の実施形態では、スライディングモード制御器27により同定器25で同定された離散系モデルのゲイン係数 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ を用いて目標空燃比 $KCMD$ を決定するようにしたが、適応制御器等の他の漸化式形式の制御器により同定されたゲイン係数 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ を用いて目標空燃比 $KCMD$ を決定するようにしてもよく、さらには、同定されたゲイン係数 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ を用いて目標空燃比 $KCMD$ を決定し得るものであれば、ファジー制御器やニューラルネットワーク型の制御器を用いてもよい。

【0494】また、第1及び第2の実施形態では、対象排気系Eの無駄時間 $d$ をあらかじめ定めた値に設定したが、ゲイン係数 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ と共に該無駄時間 $d$ を同定するようにすることも可能である。そして、この場合において、同定する無駄時間 $d$ の値を前記第2の実施形態と同様に適当な条件によって制限するようにしてもよい。

【0495】また、第1及び第2の実施形態では、同定

器 2 5 によるゲイン係数  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  の同定を触媒装置 3 を通過した排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態において行うようにしたが、該空燃比がリッチ側からリーン側に変化する挙動状態において同定を行うようにしてもよく、さらには、該挙動状態を区別することなく任意の挙動状態において、逐次ゲイン係数  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  の同定を行ったり、あるいは排ガスの空燃比がリーン側からリッチ側に変化する挙動状態と排ガスの空燃比がリッチ側からリーン側に変化する挙動状態とで各別にゲイン係数  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  の同定を行うようにしてもよい。このような場合には、推定器 2 6 とスライディングモード制御器 2 7 とで用いるゲイン係数  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  は、同定器 2 5 で実際に今回の制御サイクルで同定したゲイン係数を用いることとなる。

【0496】また、本発明のプラントの制御装置に関し、前記第 1 及び第 2 の実施形態では、内燃機関の排気系の制御装置を例にとりて説明したが、本発明のプラントの制御装置は前記実施形態に限られるものではない。

【0497】以下に本発明のプラントの制御装置の他の一実施形態を図 27 を参照して説明する。

【0498】図 27 において、30 はプラントであり、このプラント 30 には、流量制御器 31 (アクチュエータ) により流量を調整可能なアルカリ液が入力される。そして、該プラント 30 は、与えられたアルカリ液に酸性液を合流させ、それを攪拌器 32 により攪拌してなる混合液を出力するものである。

【0499】本実施形態の制御装置は、このようなプラント 30 が出力する混合液 (アルカリ液と酸性液との混合液) の pH が所望の pH (例えば中性に相当する pH 値) になるようにプラント 30 に入力されるアルカリ液の流量を制御するもので、その制御のために次のような構成を備えている。

【0500】すなわち、本実施形態の制御装置は、プラント 30 の出力側に該プラント 30 の出力である前記混合液の pH を検出するべく設けられた pH センサ 33 (第 1 検出手段) と、プラント 30 の入力側に該プラントの入力であるアルカリ液の流量を検出するべく設けられた流量センサ 34 と、これらの pH センサ 33 及び流量センサ 34 のそれぞれの出力  $V_1/OUT$ ,  $V_2/OUT$  に基づき後述の演算処理を行う制御ユニット 35 とを具備する。

【0501】制御ユニット 35 は、マイクロコンピュータ等により構成されたもので、pH センサ 33 の出力  $V_1/OUT$  とその目標値  $V_1/TARGET$  (これは前記混合液の目標 pH に相当するもの) との偏差  $V_1 (=V_1/OUT - V_1/TARGET)$  を pH センサ 33 の出力を示すデータとして算出する減算処理部 36 と (以下、偏差  $V_1$  を pH センサ 33 の偏差出力  $V_1$  という)、流量センサ 34 の出力  $V_2/OUT$  と所定の基準値  $V_2/REF$  (これは任意に設定してよい) との偏差  $V_2 (=V_2/OUT - V_2/REF)$  を流量センサ 34 の出力を示すデータとして算出する減算処理部 37 と (以下、偏差

$V_2$  を流量センサ 34 の偏差出力  $V_2$  という)、上記偏差出力  $V_1$ ,  $V_2$  に基づいて、pH センサ 33 の出力  $V_1/OUT$  をその目標値  $V_1/TARGET$  に収束させるためにプラント 30 に与えるべきアルカリ液の目標流量  $V_2CMD$  をプラント 30 への入力を規定する操作量として決定する操作量決定部 38 と、流量センサ 34 の出力  $V_2/OUT$  (検出流量) を目標流量  $V_2CMD$  に一致させるように前記流量制御器 31 の動作量をフィードバック制御するフィードバック制御部 39 とを具備する。

【0502】前記操作量決定部 38 は、前述の第 1 あるいは第 2 の実施形態の空燃比操作量決定部 13 と同様に同定器、推定器及びスライディングモード制御器 (図示しない) を備えている。そして操作量決定部 38 は、例えば前記式 (1) の  $V_02$ ,  $k_{act}$  をそれぞれ前記偏差出力  $V_1$ ,  $V_2$  で置き換えて成るプラント 30 の離散系モデルを用い、該空燃比操作量決定部 13 の同定器 25、推定器 26 及びスライディングモード制御器 27 と同様の演算処理を行うことで、プラント 30 の離散系モデルのパラメータの同定値 (これは前述の実施形態における同定ゲイン係数  $a_1$  ハット、 $a_2$  ハット、 $b_1$  ハットに対応する) の算出や、プラント 30 に存する無駄時間後の pH センサ 33 の出力  $V_1/OUT$  もしくは偏差出力  $V_1$  の推定値 (これは前述の実施形態における推定偏差出力  $V_02$  バーに対応する) の算出、上記パラメータの同定値や pH センサ 33 の出力  $V_1/OUT$  もしくは偏差出力  $V_1$  の推定値を用いた前記目標流量  $V_2CMD$  (これは前述の実施形態における目標空燃比  $KCMD$  に対応する) の算出を行う。

【0503】この場合、前述の実施形態において説明したような同定器におけるフィルタリング処理や推定器におけるフィルタリング処理は、プラント 30 の周波数特性を考慮し、基本的には、プラント 30 の入力変化に対する出力変化のゲインが比較的大きなものとなる周波数帯を重視したフィルタリング処理を、必要に応じて前述の実施形態と同様に施すようにすればよい。

【0504】また、同定器による同定処理をプラント 30 の特定の挙動状態で行うに際しては、離散系モデルのパラメータの同定に適した挙動状態を実験等を通じて定めておき、その挙動状態を pH センサ 33 の出力  $V_1/OUT$  もしくは偏差出力  $V_1$  に基づいて把握して同定処理を行うようにすればよい。

【0505】さらに、前記第 2 の実施形態のように、同定器による同定を行う離散系モデルのパラメータの値を制限するに際しては、pH センサ 33 の出力  $V_1/OUT$  の目標値  $V_1/TARGET$  への制御性や、前記目標流量  $V_2CMD$  の安定性もしくはそれに応じた流量制御器 31 の動作の安定性等を考慮して、実験やシミュレーションを通じて上記パラメータの値もしくはその組み合わせを制限するための条件を第 2 の実施形態と同様に設定すればよい。

【0506】尚、前記フィードバック制御部 39 は、例えば前述の実施形態の大局的フィードバック制御部 15

と同様に、図示しないPID制御器あるいは適応制御器等により、流量センサ34の出力V2/OUT（検出流量）が前記目標流量V2CMDに一致するように流量制御器31の動作をフィードバック制御する。

【0507】このような本実施形態の装置によれば、プラント30に与えられるアルカリ液のpHや、該アルカリ液にプラント30内で混合する酸性液のpH、該酸性液の流量を把握せずとも、外乱の影響やプラント30に存する無駄時間の影響によらずに、適応スライディングモード制御を用いて精度よくpHセンサ33の出力V1/OUT、すなわちプラント30が生成する混合液のpHを所望のpHに制御することができる。

【0508】尚、本実施形態のプラントの制御装置は、前記空燃比制御装置の実施形態について説明した変形態様と同様の各種の変形態様が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置及びプラントの制御装置の第1の実施形態の全体的システム構成図。

【図2】図1の装置で使用するO<sub>2</sub>センサの出力特性図。

【図3】図1の装置の空燃比操作量決定部の基本構成を示すブロック図。

【図4】図1の装置で用いるスライディングモード制御を説明するための説明図。

【図5】図1の装置の適応制御器の基本構成を示すブロック図。

【図6】図1の装置のエンジンの燃料制御に係わる処理を説明するためのフローチャート。

【図7】図6のフローチャートにおけるサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図8】図1の装置の空燃比操作量決定部の全体的処理を説明するためのフローチャート。

【図9】図8のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図10】図8のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図11】図8のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図12】図11のフローチャートのサブルーチン処理を説明するための説明図。

【図13】図11のフローチャートのサブルーチン処理を説明するための説明図。

【図14】図11のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図15】図11のフローチャートのサブルーチン処理を説明するための説明図。

【図16】図11のフローチャートのサブルーチン処理を説明するための説明図。

【図17】図11のフローチャートのサブルーチン処理を説明するための説明図。

【図18】図11のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図19】図8のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図20】図8のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図21】図8のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図22】図21のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図23】図8のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図24】本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置及びプラントの制御装置の第2の実施形態を説明するための説明図。

【図25】本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置及びプラントの制御装置の第2の実施形態を説明するための説明図。

【図26】本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置及びプラントの制御装置の第2の実施形態の作動を説明するためのフローチャート。

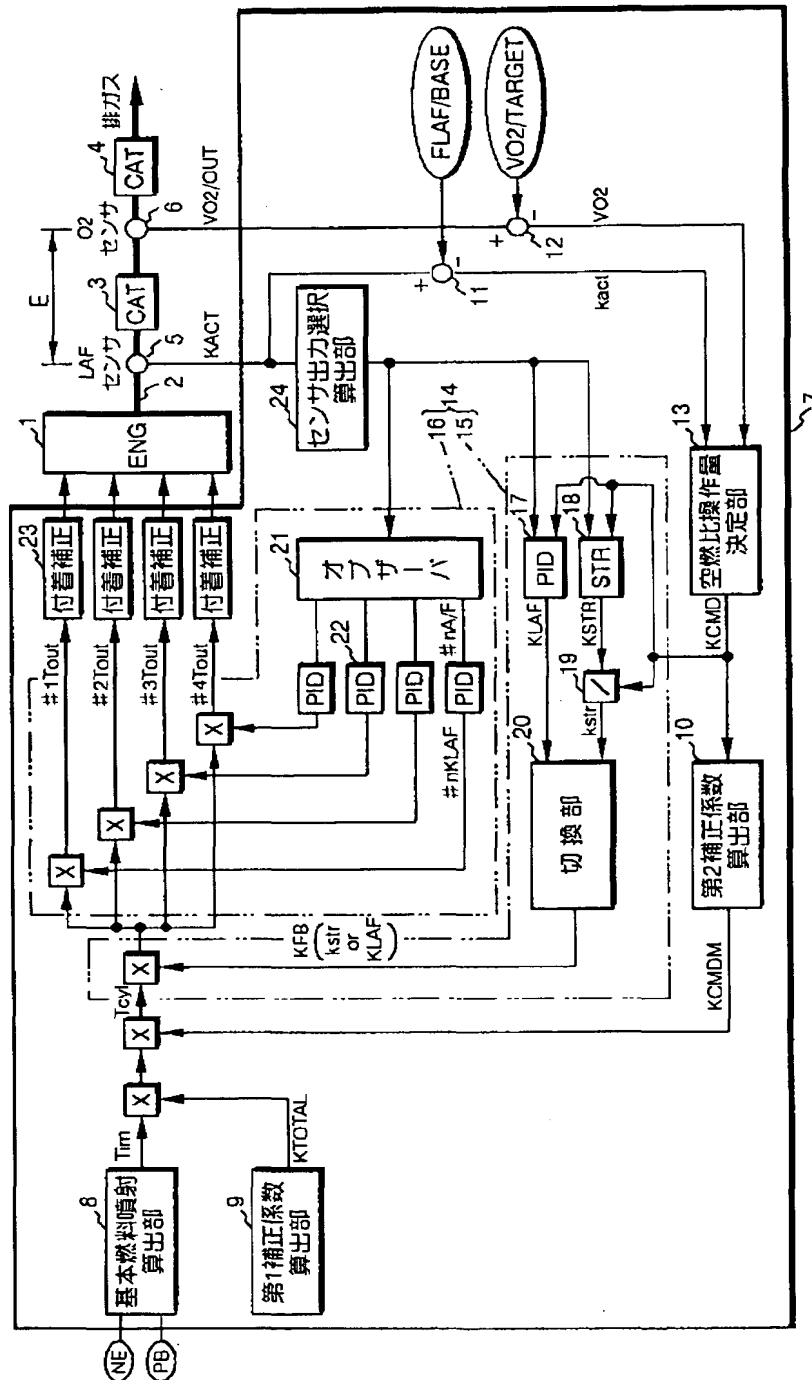
【図27】本発明のプラントの制御装置の他の実施形態の全体的システム構成図。

【符号の説明】

1…エンジン（内燃機関、アクチュエータ）、3…触媒装置、E…対象排気系（プラント）、5…広域空燃比センサ（第2排ガスセンサ、第2検出手段）、6…O<sub>2</sub>センサ（第1排ガスセンサ、第1検出手段）、13…空燃比操作量決定部、15…フィードバック制御部、18…適応制御器、25…同定器、26…推定器、27…スライディングモード制御器、30…プラント、31…流量制御器（アクチュエータ）、33…pHセンサ（第1検出手段）、34…流量センサ（第2検出手段）、38…操作量決定部、39…フィードバック制御部。

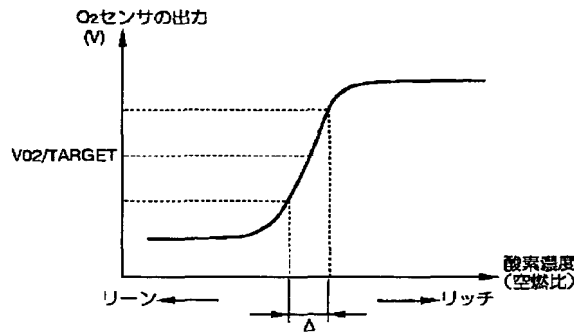
【図1】

FIG. 1



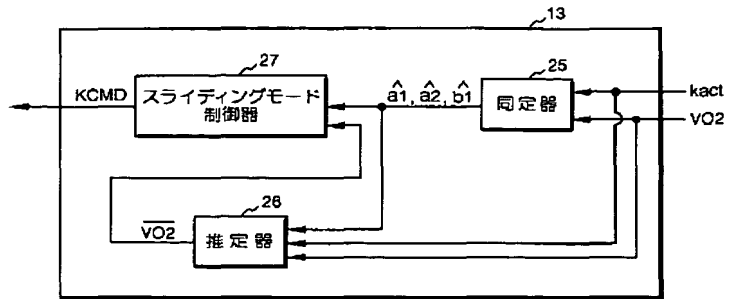
【図 2】

FIG. 2



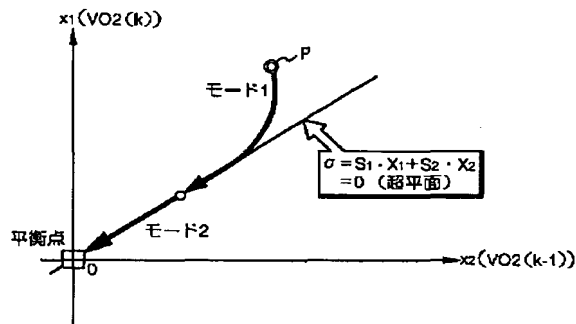
【図 3】

FIG. 3



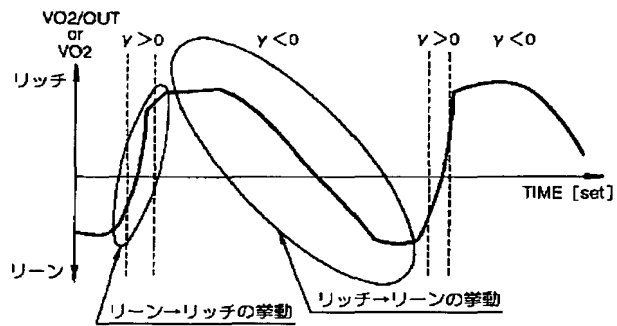
【図 4】

FIG. 4



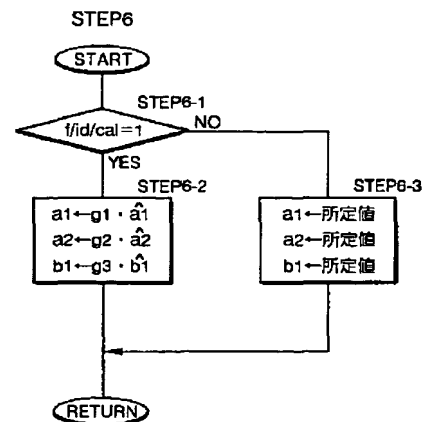
【図 12】

FIG. 12



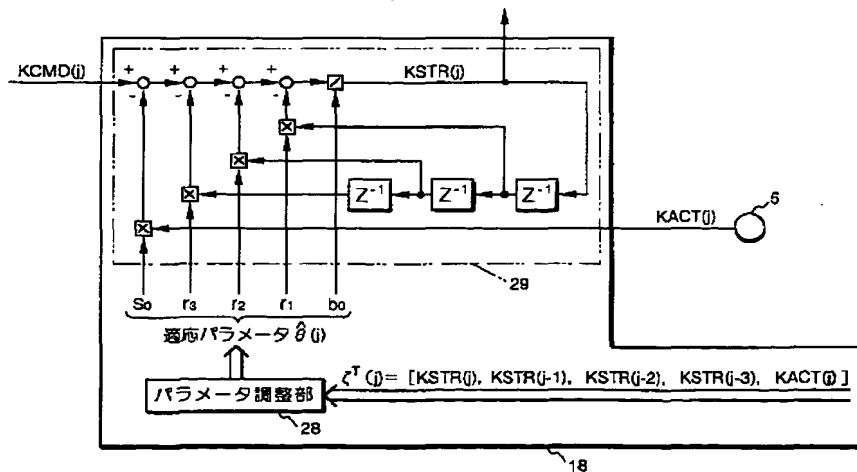
【図 19】

FIG. 19

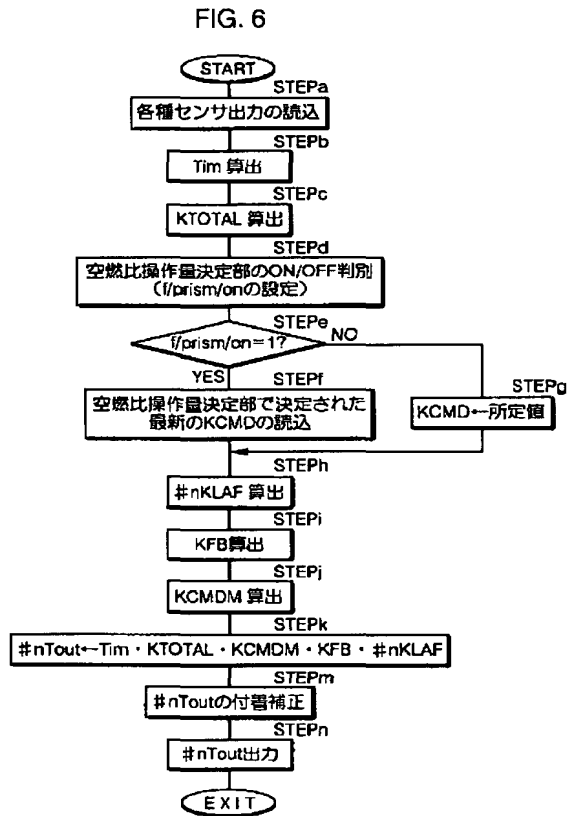


【図 5】

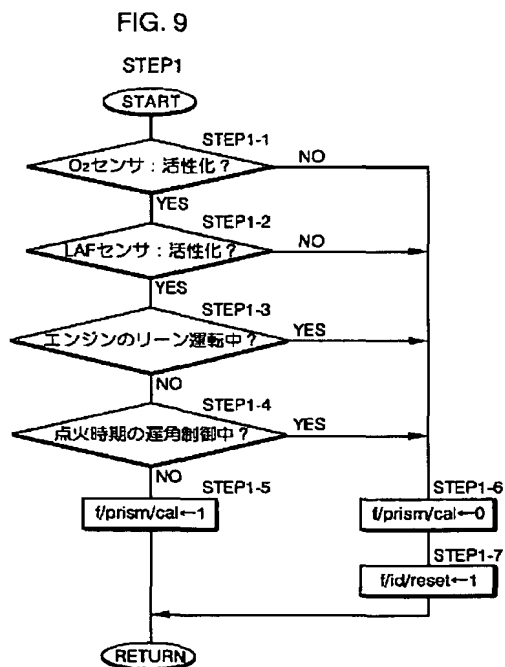
FIG. 5



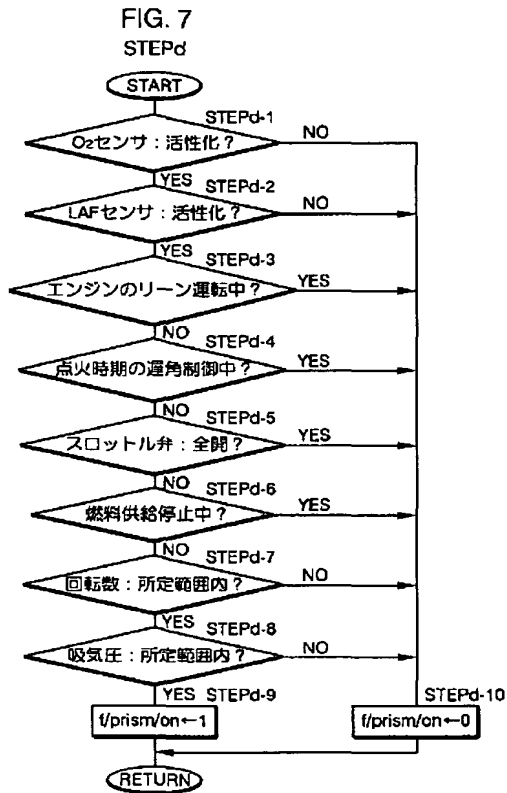
【図 6】



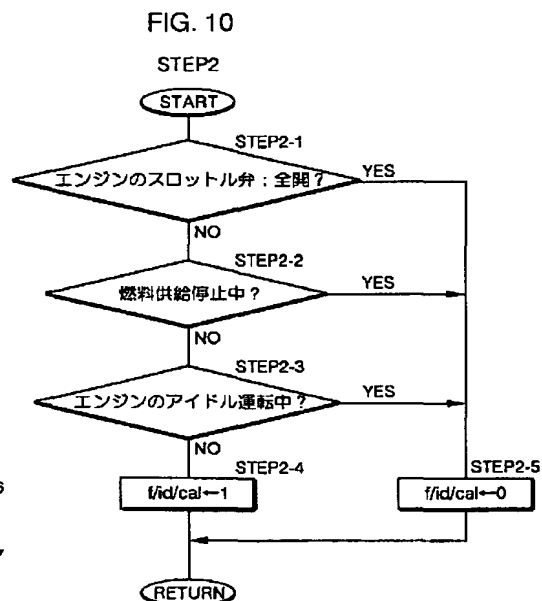
【図 9】



【図 7】



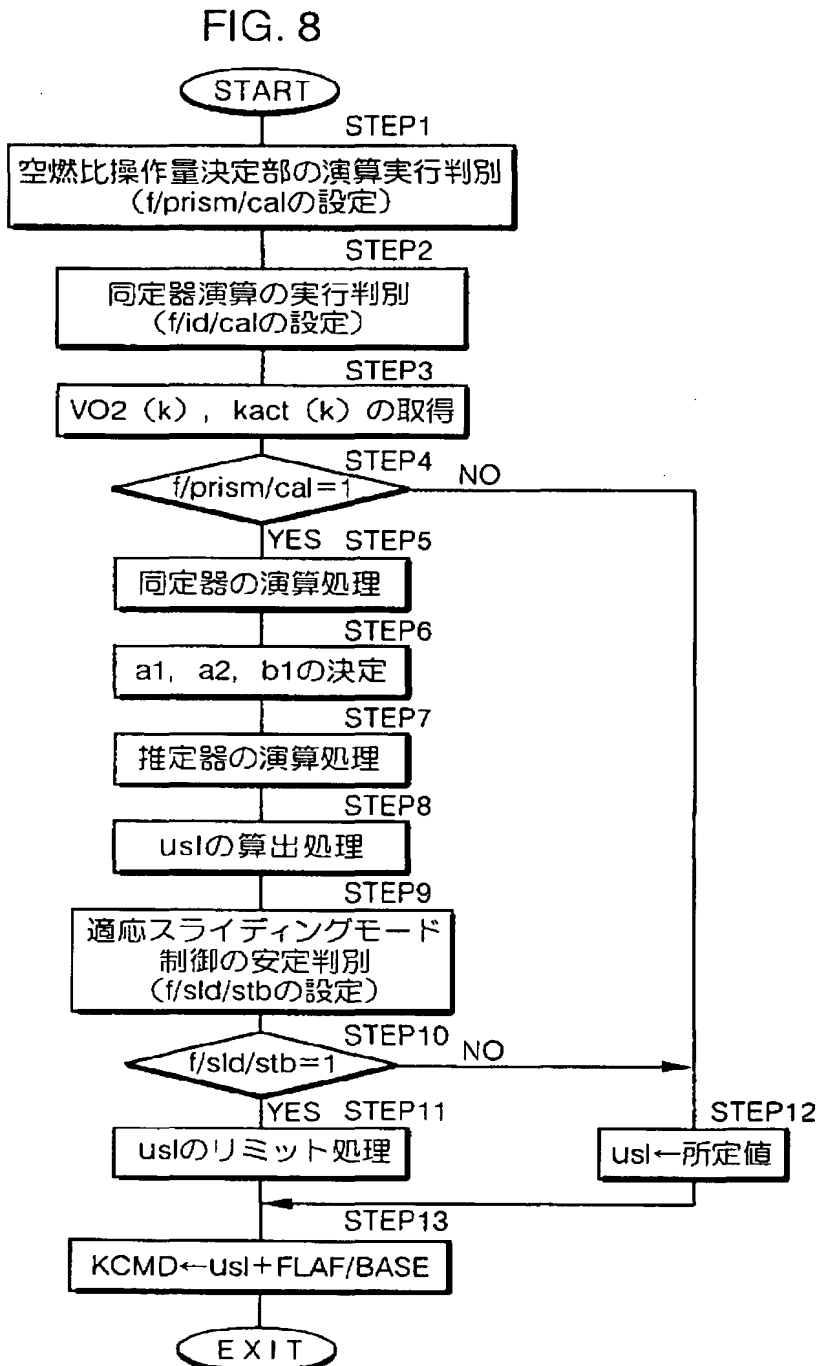
【図 10】



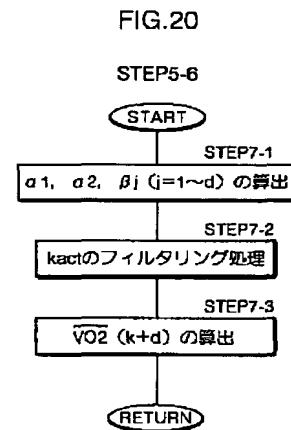
【図 2 1】



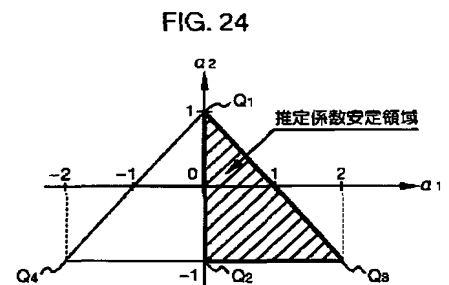
【図 8】



【図 20】

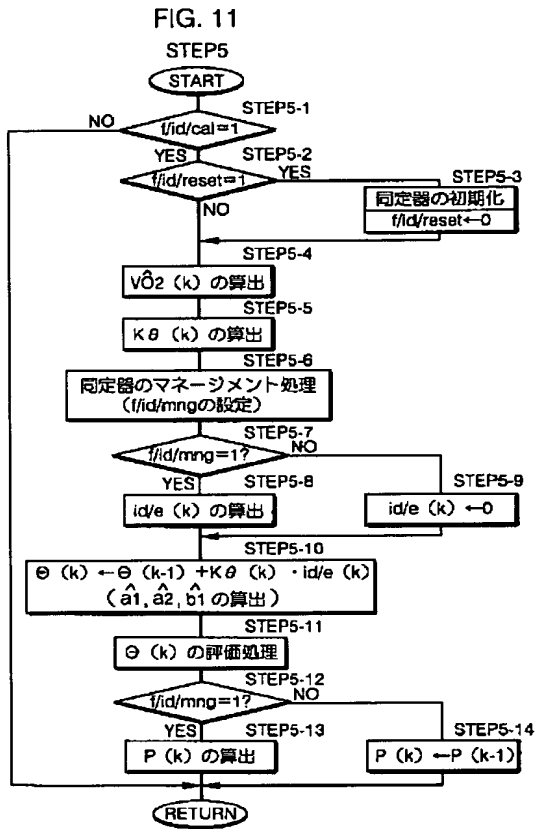


【図 24】

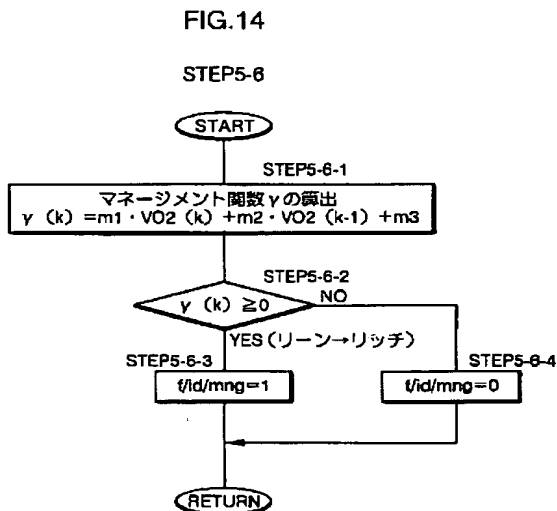




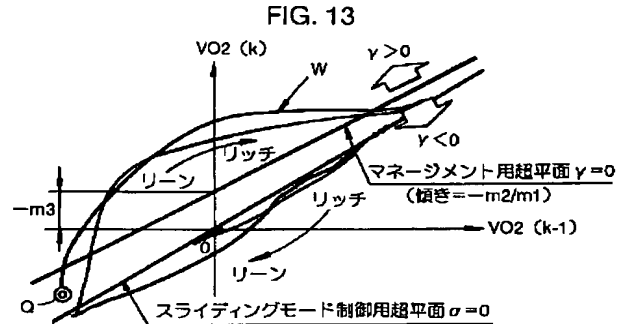
【図 1 1】



【図 1 4】



【図 1 3】



【図 1 5】

FIG. 15 (a)

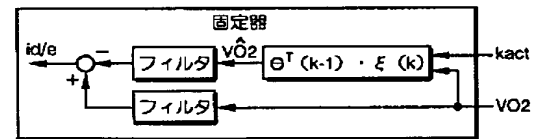


FIG. 15 (b)

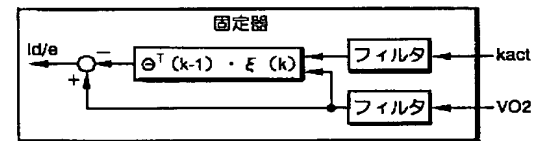
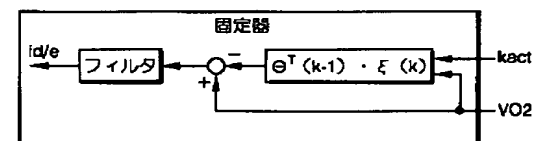
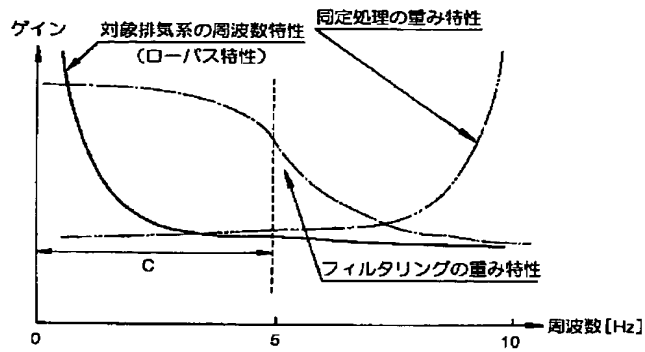


FIG. 15 (c)



【図 16】

FIG. 16



【図 17】

FIG. 17 (a)

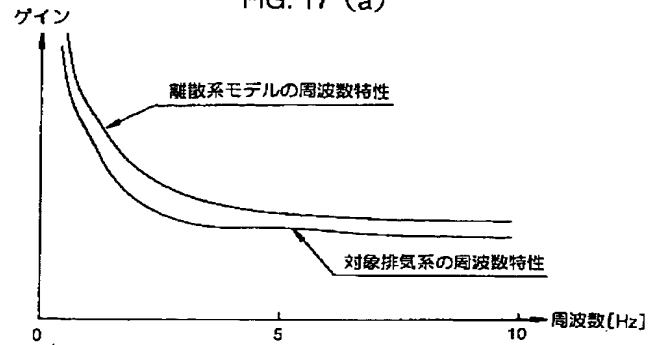
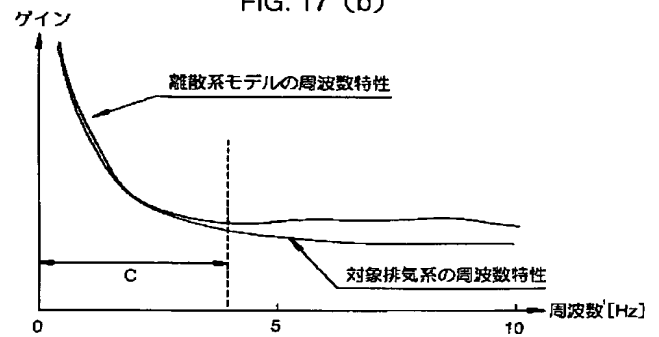
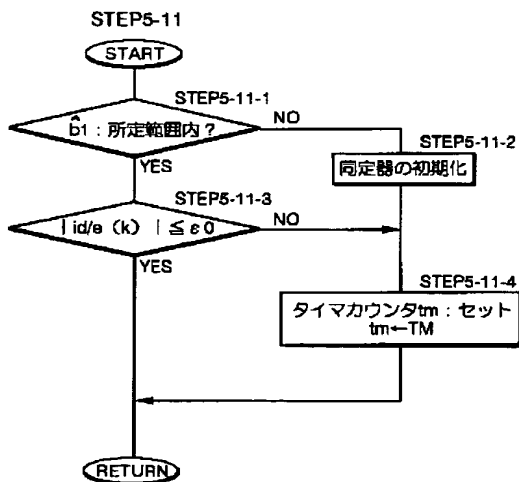


FIG. 17 (b)



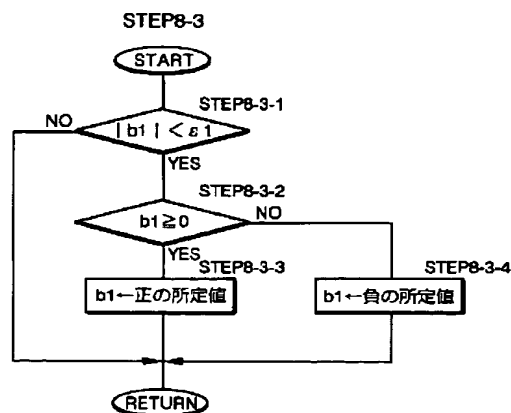
【図 18】

FIG. 18



【図 22】

FIG. 22



【図 25】

FIG. 25

